

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra Elektroenergetiky 410**

**Jaderné elektrárny**

Nuclear Power Stations

2010

Kvapil Petr

Prohlášení:

*„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“*

Datum odevzdání: 7.5.2010

Podpis: .....

**Téma**

Jaderné elektrárny

**Abstrakt**

Předložená práce se zabývá problematikou jaderné energetiky a jejím využití ve světovém i tuzemském měřítku. V první části jsou uvedeny všeobecné informace o jaderných elektrárnách jako historie, jaderná reakce a jaderná energie ve světě. V druhém bodu je řešena otázka zařízení jaderných elektráren, primární, sekundární a terciární okruh. Dále práce posuzuje otázku ekologie a vliv jaderné elektrárny na okolí. V závěru jsou shrnuty dosažené informace z dané problematiky.

**Klíčová slova**

Jaderná energie, jaderná elektrárna, reaktor, ekologie, odpad, jaderná reakce, ochrana, bezpečnost, okruh

**Theme**

Nuclear Power Stations

**Abstract**

In the theses there are elaborated materials about nuclear energetics and its use in global and domestic scale. In the first part I introduced some basic information about nuclear power stations as a history, nuclear reactions and nuclear energy in the world. The second point is addressed, nuclear power machinery, primary, secondary and tertiary circuit. Further work mentioned the question of ecology and affect of nuclear power station surroundings. The conclusion summarizes the information obtained from the issue.

**Key words**

Nuclear energy, nuclear power station, reactor, environmentalism, crop ends, nuclear reaction, protection, safeness, circle

## Obsah

1. Úvod.....	1
2. Úvod do problematiky jaderné energetiky .....	2
2.1 Historie objevu jaderné energie .....	3
2.2 Jaderná reakce .....	3
2.3 Štěpení atomových jader uranu - uvolněná energie .....	5
2.4 Základní pojmy z jaderné fyziky.....	5
2.5 Jaderná energie ve světě .....	6
2.6 Jaderná energie v ČR.....	7
2.6.1 Jaderná elektrárna Dukovany .....	7
2.6.2 Jaderná elektrárna Temelín.....	7
2.7 Vyvážený energetický mix .....	8
2.8 Jaderná fúze .....	10
3. Zařízení jaderných elektráren .....	11
3.1 Bezpečnostní systémy .....	11
3.1.1 Mezinárodní stupnice pro hodnocení jaderných událostí.....	12
3.1.2 Kontejnment .....	13
3.2 Vlastní spotřeba elektrárny .....	14
3.3 Primární okruh Jaderné elektrárny .....	14
3.3.1 Jaderné reaktory .....	15
3.3.2 Kompenzátor objemu .....	17
3.3.3 Hlavní cirkulační čerpadlo .....	17
3.3.4 Potrubí primárního okruhu .....	17
3.3.5 Parogenerátor.....	18
3.4 Sekundární okruh .....	18
3.4.1 Parní turbíny .....	19
3.4.2 Alternátor .....	22
3.4.3 Nízkotlaké a vysokotlaké regenerační ohříváky .....	23
3.4.4 Kondenzátor .....	23
3.5 Terciární okruh.....	23
3.5.1 Chladicí věže .....	24
3.5.2 Oběhová čerpadla .....	24
3.5.3 Potrubí a kanály chladicí vody .....	24
4. Jaderné elektrárny a životní prostředí .....	25
4.1 Vliv jaderných elektráren na životní prostředí a lidské zdraví.....	25
4.1.1 Lidské zdraví .....	26

4.1.2 Krajina.....	26
4.1.3 Zemědělství .....	27
4.2 Porovnání vlivu jednotlivých elektráren na životní prostředí .....	28
4.3 Radioaktivní odpady a jejich bezpečné uložení .....	29
4.4 Rozdělení radioaktivního odpadu.....	29
4.5 Úprava odpadů .....	31
4.6 Vyhořelé palivo cesta uložení .....	32
5. Závěr .....	33
6. Použitá literatura .....	34

# 1. ÚVOD

Jaderná energie je v dnešní době často zmiňovaným tématem. Celý svět řeší otázku výroby elektrické energie. Mnoho možností nám již nezbývá, jelikož fosilní paliva ubývají a nelze se na ně do budoucna spolehnout. Proto se do budoucna musíme spíše zaměřit na energii jádra a na obnovitelné zdroje elektrické energie, jako je slunce, vítr a voda.

Nekonvenční zdroje jsou ale dosti nákladné a elektrická energie v nich vyrobená je velmi drahá. Jako nejlepší řešení se nabízí využití energie jádra. Jaderné elektrárny tvoří významnou část výroby elektrické energie, ve světě se uvádí cca 20%. S postupem času budou jaderné elektrárny hlavními zdroji elektrické energie, protože jak je známo, fosilních paliv ubývá a jelikož elektrárny na fosilní paliva se celosvětově podílí na výrobě elektrické energie největším dílem a bude je potřeba do budoucna nahradit.

Práce se bude zabývat jednotlivými aspekty jaderné energie a jaderných elektráren. První bod řeší otázku obecně jaderné energie. V této části jsou zmíněny aspekty historie vzniku jaderné reakce, jaderné energie ve světě a v české republice. Druhý bod s názvem Zařízení jaderných elektráren obsahuje globální pohled na hlavní zařízení v jaderných elektrárnách. Třetí bod je zaměřen na v současné době velice žádané téma a tím je ekologie. Bod s názvem jaderné elektrárny a životní prostředí řeší dopad jaderné energetiky na okolí, otázku zpracování jaderného odpadu a jeho následné uložení.

Bakalářská práce je psána formou rešerše. Cílem bakalářské práce je blíže seznámit s problematikou jaderné energetiky, v České republice i ve světě.

## 2. ÚVOD DO PROBLEMATIKY JADERNÉ ENERGETIKY

Jaderné elektrárny jsou v zásadě elektrárny tepelné, teplo potřebné pro přeměnu vody na páru však v nich nezískáváme spalováním paliva, ale jaderným štěpením. Počínaje turbínou pohánějící generátor je jaderná elektrárna vlastně stejná jako klasická elektrárna uhelná. Jediný rozdíl - ovšem zásadní - je ve zdroji tepla.

= Primární (první) okruh slouží k přenosu tepelné energie z aktivní zóny do parogenerátoru. V parním generátoru se předává teplo sekundárnímu (druhému) okruhu. Jedná se o uzavřený systém, který brání úniku radioaktivity vně tohoto systému. Primární okruh tvoří reaktor, potrubní systémy k cirkulaci vody, parogenerátor, kompenzátor objemu a cirkulační čerpadla.

= Sekundární (druhý) okruh slouží k transportu páry a k přeměně její vnitřní energie na točivý pohyb turbíny. Základní části sekundárního okruhu tvoří: sekundární část parogenerátoru, potrubní systémy sekundárního okruhu, turbogenerátor, kondenzátor a čerpadla. Jde, stejně jako u primárního okruhu, o uzavřený systém bránící případnému úniku radioaktivity [1]

=



Obr. č.1 Jaderná elektrárna Dukovany [5]

Při stavbě jaderné elektrárny je vždy hlavní důraz kladen na bezpečnost reaktoru. Veškerá zařízení primárního okruhu jsou vyrobena podle přísných mezinárodních norem a podléhají neustálé kontrole tak, aby byla bezpečnost jaderné elektrárny zajištěna doslova v každém okamžiku. V jaderné elektrárně Temelín je navíc primární okruh umístěn v plnotlakém železobetonovém kontejnmentu - hermetické ochranné obálce.[6]

## 2.1 Historie objevu jaderné energie

V Německu v letech 1935 - 1937 vědecký tým ve složení Otto Hahn, Lise Meitnerová a Fritz Strassmann nechal na atomy uranu dopadat svazek neutronů. V prosinci roku 1938 Hahn a Strassmann objevili ve vzorcích uranu po bombardování neutrony prvky s poloviční atomovou hmotností (barium, lanthan). Informovali o tom Lise Meitnerovou. Ta tento jev interpretovala se svým synovcem Otto Frischem jako rozdělení atomu uranu na dva jiné atomy s uvolněním obrovské energie. Tento jev pojmenovali jako jaderné štěpení (nuclearfission).

Jaderné štěpení později prokázali nezávisle další vědci na různých pracovištích. Domnívají se, že pomocí štěpení by bylo možné uvolnit velké množství energie při řetězové reakci. K tomu je třeba, aby se při štěpení uvolnilo také několik neutronů, které by mohli iniciovat další štěpení. Je také experimentálně dokázáno uvolnění dvou až tří neutronů při štěpení. Ukázalo se, že snadno štěpitelný je pouze izotop U-235. V roce 1941 objevili vědci z Berkeley plutonium, které je štěpitelné jako uran 235 a lze jej vyrobit v jaderném reaktoru.

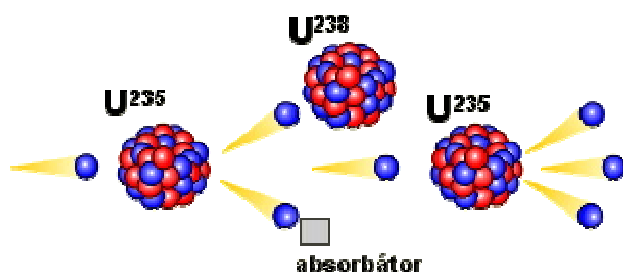
2. prosince 1942 tým okolo Enrica Fermiho spustil první jaderný reaktor na světě se samoudržitelnou štěpnou řetězovou reakcí. V 15:20 dosáhl reaktor prvního kritického stavu. Reaktor pojmenovaný Chicago Pile-1 byl postaven pod zrušenou tribunou na stadionu chicagské univerzity. Reaktor se skládal z uranových a grafitových bloků. Grafit zde sloužil ke zpomalení rychlých neutronů (k tzv. moderaci). Řízen byl tyčemi, pokrytými kadmii, jelikož kadmium je velmi silný absorbátor tepelných neutronů. Proto zasunutí kadmiové tyče do reaktoru způsobilo větší pohlcování tepelných neutronů a tím i snižování počtu štěpení za jednotku času a tedy i celkový výkon reaktoru. K výrobě elektřiny byl jaderný reaktor poprvé využit 20. prosince 1951 ve výzkumné stanici EBR-I poblíž Arca (Idaho). Zařízení založené na rychlém množivém reaktoru dodávalo zpočátku výkon kolem 100 kW. První jaderná elektrárna byla postavena v Sovětském svazu v městě Obninsk. K rozvodné síti byla oficiálně připojena 27. června 1954.[2]

## 2.2 Jaderná reakce

Pod jadernými reakcemi v jaderné fyzice obecně rozumíme procesy, kdy se dva nukleony, nebo dvě jádra, nebo nukleon či jiná částice a jádro, přiblíží k sobě na vzdálenost řádu  $10^{-13}$  cm, vstoupí do oblasti působení silné jaderné interakce, což vyvolá v jádrech změny počtu, energií a konfigurací nukleonů, které mohou vést k emisi dalších částic. Většina jaderných reakcí spočívá v tom, že terčíkové jádro je ostřelováno určitou částicí, která svou interakcí vyvolá změnu jádra a vyzáření nové částice.[4]



Při štěpné reakci jádra atomu se uvolní v průměru dva až tři neutrony, které mohou vyvolat rozštěpení dalšího jádra. Tak vzniká štěpná “řetězová” reakce.



Obr. č.2 Štěpení jádra uranu

K vyvolání reakce jader s jinými jádry či částicemi musí být energie částic dopadajících na jádro terčové látky dostatečně velká k překonání Coulombových sil mezi částicí a nukleony v jádře.

Vyvolání reakcí:

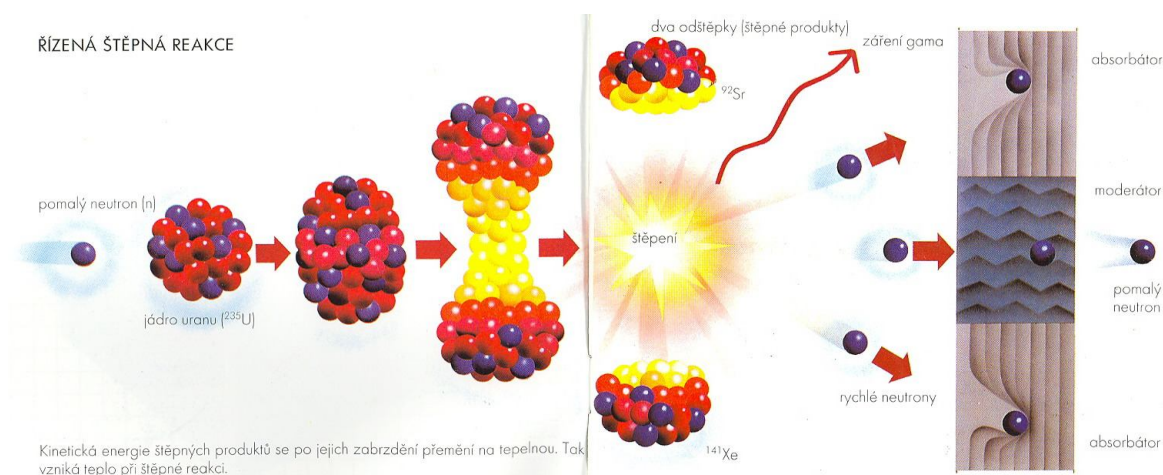
- Bombardování

různých látek lehkými jádry tj. protony, neutrony nebo částicemi  $\alpha$  urychlenými v cyklotronech, pokusně i  $e$ ,  $\gamma$  a  $x$ .

- Zvýšení teploty

na  $10^7 - 10^8$  °C - částice mají dostatečnou energii k překonání vzájemného elektrostatického odpuzování. Termonukleární reakce probíhající v nitru stálíc a je zdrojem jejich ohromné energie.

Prakticky se v jaderných reaktorech ale používá jen interakce neutronu s atomovými jádry. Neutron nemá elektrický náboj, a proto nemusí při přibližování k atomovému jádru překonávat



Obr. č.3 Řízená jaderná reakce

odpudivé elektrostatické síly a mohou se tak používat i neutrony s malou kinetickou energií.

V jaderném reaktoru nastávají tyto interakce mezi neutronem a jádrem atomu:

- Rozptyl

neutronu - neutron se po nárazu na jádro odrazí a letí dál jiným směrem. Zůstává-li celková kinetická energie obou částic nezměněna, hovoříme

o pružném rozptylu, způsobuje zpomalování neutronů (pomalé, tepelné neutrony). Energie pomalých neutronů při 20 °C je 0,025 eV, energie rychlých

neutronů je větší než 1,1 MeV. Změní-li se však část energie v excitační energii jádra, hovoříme o rozptylu nepružném. Část energie jádra se emituje zářením  $\gamma$  a jádro přejde do původního stavu.[1]

### 2.3 Štěpení atomových jader uranu - uvolněná energie

Neutron předá jádru atomu energii a jádro přejde do excitovaného stavu - jádro má elipsoidní tvar a začne pulsovat, pokud je energie dostatečně velká, poruší se pevnost jádra, zvětšení Coulombovských sil, dojde k rozštěpení jádra - uvolní se  $2,5 \pm 0,1$  neutronu a částice záření

Energie při rozštěpení 1 jádra uranu:

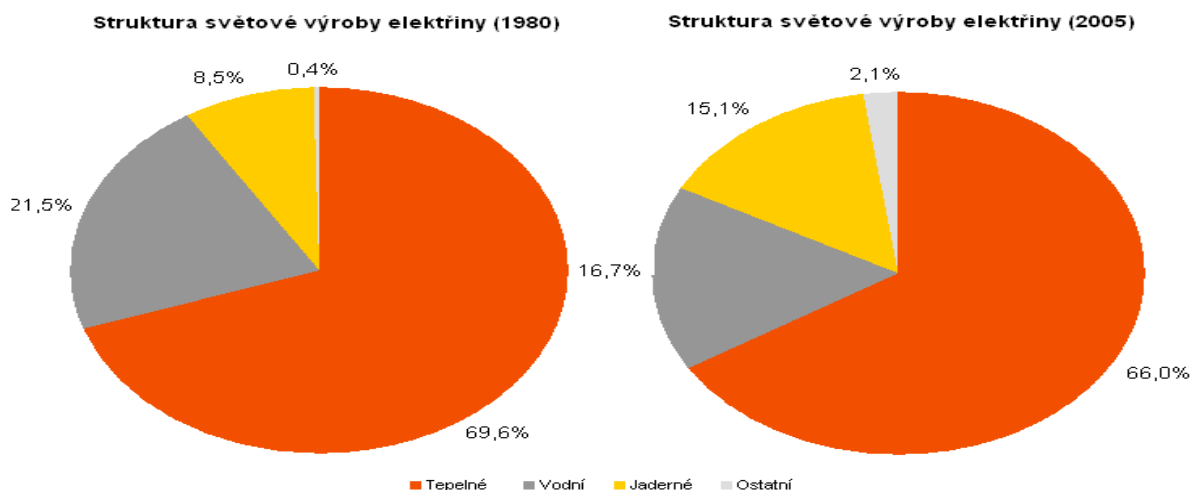
$$E = 931,48 \cdot \Delta m = 931,48 \cdot 0,215 = 200 \text{ MeV}[1]$$

### 2.4 Základní pojmy z jaderné fyziky

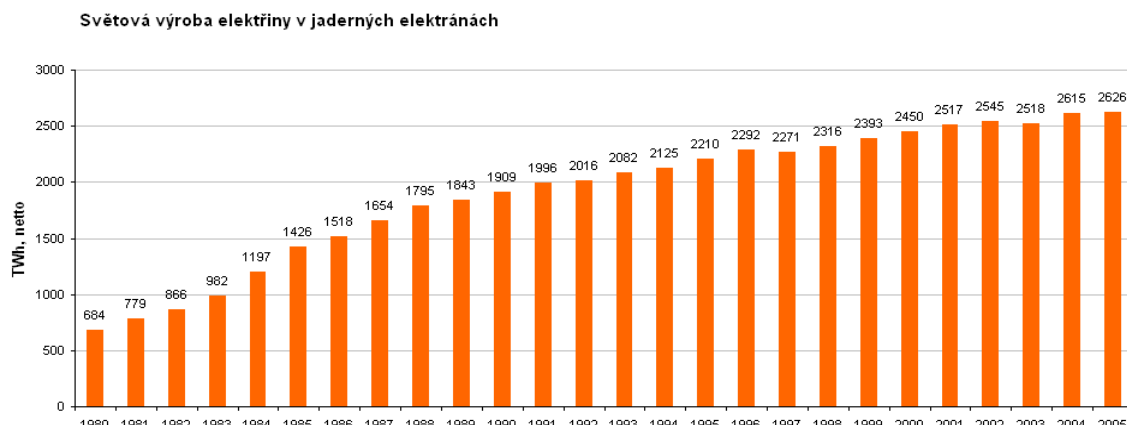
- **Atom** - skládá se z kladně nabitého jádra a záporně nabitých elektronů, které obíhají okolo, takže atom jako celek je neutrální. Atom má průměr řádově  $10^{-10}$  m.
- **Jádro atomu** - skládá se z kladně nabitých protonů a neutrálních neutronů. Průměr má řádově  $10^{-14}$  m.
- **Neutron** - (n) je částice jádra bez náboje o hmotnosti  $1,00897 m_u$ . Hmotnost  $1,6747 \cdot 10^{-27}$  kg
- **Proton** - (p) je kladně nabitá částice o hmotnosti  $1,00751 m_u$ . Počet protonů v jádře se rovná počtu elektronů v elektronovém obalu, takže atom je navenek neutrální.
- **Elektronový obal** - obsahuje elektrony v různých vrstvách (sférách). Počet elektronů v poslední vrstvě určuje chemické vlastnosti prvků. Hmotnost elektronu je  $0,00062 m_u$ .
- **Nukleony** - částice obsažené v jádře tj. p i n.
- **Atomové (protonové) číslo Z** - udává počet protonů p v jádře atomu.
- **Hmotnostní číslo A** - udává počet nukleonů (součet protonů a neutronů) v jádře a zároveň je nejbližším celým číslem atomové hmotnosti. Počet neutronů v atomovém jádře je  $A - Z$ .
- **Značení atomů** - např.  ${}_{92}\text{U}^{238}$ ,  ${}_Z\text{U}^A$ .

## 2.5 Jaderná energie ve světě

V roce 2006 bylo v 30 státech světa v provozu 441 jaderných reaktorů s celkovou instalovanou kapacitou blížící se 370 000 GW. Celosvětově tyto reaktory vyrábějí asi 16 % světové elektřiny. Nejvíce jaderných zdrojů je provozováno v USA, ve Francii, Japonsku, Velké Británii a Rusku. Jaderná energetika hraje velmi významnou roli i v zemích EU - z jaderných elektráren zde pochází přibližně jedna třetina (33 %) veškeré vyrobené elektřiny. Za posledních 15 let se výroba v jaderných elektrárnách na celém světě zvýšila o více než 700 milionů kilowatthodin ročně. Důvodem je výroba v nových zdrojích, rekonstrukce stávajících zdrojů, zvýšení výkonu a snižování poruchovosti. Novými metodami oprav, kontrol zařízení a lepší organizací práce se zkrátil čas potřebný pro výměny paliva. Dnešní jaderné elektrárny dosahují průměrné hodnoty využití celosvětově okolo 84 %. Ve vyjádření z hlediska hodin provozu ročně vykazují jaderné elektrárny 8 000 hodin za rok, zatímco uhelné i plynové pouze 7 000 (větrné pouze 2–3 tisíce).[5]



Graf. č.1 Struktura vyrobené elektřiny 1980-2005



Graf. č.2 Množství vyrobené elektřiny v jaderných elektrárnách ve světě [5]

## **2.6 Jaderná energie v ČR.**

Dnes je ČR ve výrobě elektřiny soběstačná, již v roce 2015 však lze podle studií očekávat nedostatek výkonu. Důvodem je každoroční asi 4% růst spotřeby elektřiny.

V České republice jsou v provozu dvě jaderné elektrárny, jaderná elektrárna Dukovany a Temelín. Bezpečnosti provozu a zamezení možnosti jaderné havárie elektráren Dukovany a Temelín je dosaženo několika způsoby. Důraz je kladen především na bezpečnost reaktoru obou jaderných zařízení - například tlakové nádoby mají velmi malý obsah kobaltu, v důsledku čehož se z nich uvolňují nižší dávky radiace.

Důležitá je rovněž kultura obsluhy zařízení - provoz jaderné elektrárny zajišťuje šest směn, řídicí personál pracuje dokonce v sedmi směnách, které procházejí v pravidelných intervalech intenzivním výcvikem.[6]

### **2.6.1 Jaderná elektrárna Dukovany**

Jaderná elektrárna Dukovany je první provozovanou jadernou elektrárnou v České republice a patří mezi největší, vysoce spolehlivé a ekonomicky výhodné energetické zdroje.

V elektrárně jsou ve dvou dvojblocích instalovány celkem čtyři tlakovodní reaktory typu VVER 440 model V 213. Každý z bloků má elektrický výkon 440 MW.

Celkový instalovaný elektrický výkon elektrárny je 1808 MW [5]

Historie Jaderné elektrárny Dukovany sahá až do počátku 70. let, kdy tehdejší Československo a Sovětský svaz v roce 1970 podepsaly mezivládní dohodu o výstavbě dvou jaderných elektráren s výkonem 1760 MW. V prvním případě šlo o elektrárnu v Jaslovských Bohunicích na Slovensku a ve druhém v Dukovanech na jižní Moravě. Změna projektu posunula plné rozjetí výstavby jaderné elektrárny Dukovany až na rok 1978. První reaktorový blok byl uveden do provozu v květnu 1985, poslední čtvrtý blok v červenci 1987. Maximálního projektového výkonu 1760 MW dosáhla elektrárna v červenci 1987. Spuštění dvou jaderných bloků – druhého a třetího – v jediném roce 1986 a na jedné lokalitě bylo ve své době zcela unikátní a doposud se ve světě neopakovalo.[9]

### **2.6.2 Jaderná elektrárna Temelín**

O výstavbě jaderné elektrárny v lokalitě Temelín bylo rozhodnuto po expertním výběru staveniště pro 4 bloky VVER 1000 v roce 1980. Investiční záměr stavby byl vydán již v únoru 1979, úvodní projekt 1. a 2. bloku byl generálním projektantem Energoprojektem (EGP) Praha zpracován v roce 1985. Vlastní stavba provozních objektů byla zahájena v únoru 1987, přičemž přípravné práce byly zahájeny na staveništi již v roce 1983. Již před rokem 1990 byl původní sovětský projekt vylepšován československými odborníky. Po listopadu 1989 došlo v nových politických a především

ekonomických podmínkách k přehodnocení potřeby výkonu 4000 MW v České republice. Vláda ČR svým usnesením č. 103/93 z března 1993 rozhodla o dostavbě JE Temelín v rozsahu dvou bloků. Původní termíny dokončení jednotlivých bloků vycházely z průběžné doby výstavby unifikovaného bloku 60 měsíců. Přes období velkých nejistot byla redukována a v technologii modernizovaná stavba dokončena a v červenci 2000 bylo zavezeno palivo do reaktoru. 21. prosince 2000 vyrobil první blok první elektřinu.

Elektřinu vyrábí ve dvou výrobních blocích s tlakovodními reaktory VVER 1000 typu V 320. Od jara 2003 je temelínská elektrárna s instalovaným elektrickým výkonem 2000 MW největším energetickým zdrojem České republiky. Technologie elektrárny odpovídá moderním světovým parametrům. Od konstrukce kontejnmentu až po optimalizaci využití paliva.[5]

Zvažované rozšíření jaderné elektrárny Temelín:

Spotřeba elektřiny stoupá nejen v České republice, ale na celém světě. Energetická společnost ČEZ zvažuje všechny možnosti, jak zajistit dostatek elektřiny pro budoucnost. Jaderná elektrárna Temelín byla projektována na 4 bloky a bylo by logické ji dokončit.

Důvody:

- postupné odstavování uhelných elektráren a omezená možnost využití obnovitelných zdrojů
- EU se snaží maximálně omezit emise skleníkových plynů a výroba elektřiny z fosilních zdrojů (uhlí a plynu) bude zřejmě čím dál tím více zatěžována cenami povolenek na vypouštění CO<sub>2</sub>
- ve světě je k dispozici dostatečná zásoba uranu a dostatečná výrobní kapacita jaderného paliva od množství dodavatelů, nehrozí tak závislost na dodávkách z potenciálně rizikových zemí.

Přínosy:

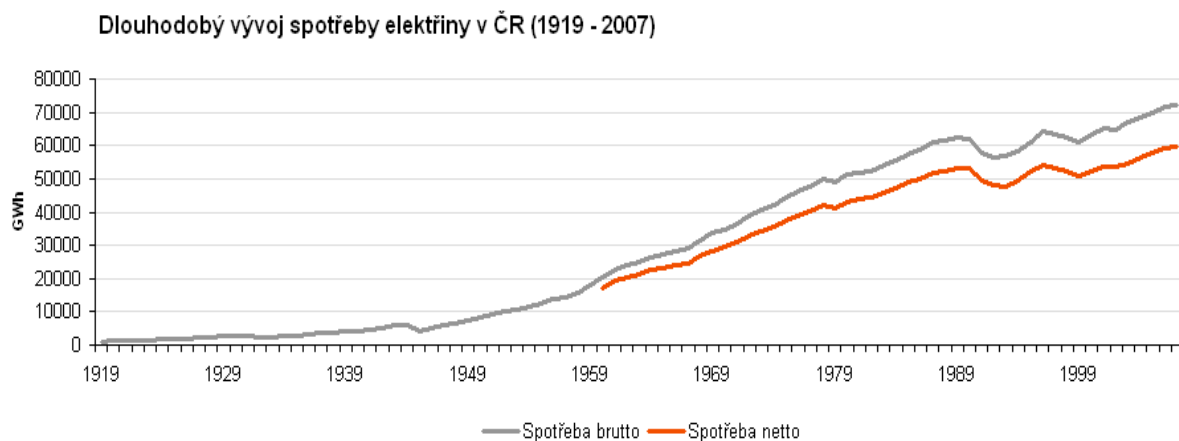
- výroba elektřiny v jaderné elektrárně má ve srovnání s jinými zdroji nejnižší náklady
- dostavba Jaderné elektrárny Temelín zaručuje budoucí spolehlivé pokrytí rostoucí spotřeby elektřiny v ČR a vytvoření dostatečné rezervy
- během očekávaného 60letého provozu uspoří nové jaderné bloky vypuštění cca 1 miliardy tun CO<sub>2</sub> oproti uhlé a cca 500 milionů tun CO<sub>2</sub> oproti plynové elektrárně stejného výkonu [7]

## 2.7 Vyvážený energetický mix

Důležitým údajem, charakterizujícím energetický zdroj, je koeficient využití. Vyjadřuje poměr skutečného množství vyrobené energie daného zdroje k teoreticky možnému. Jeho hodnota se u našich jaderných elektráren pohybuje okolo 85 %, sluneční elektrárny dosahují v našich podmínkách hodnoty okolo 10 % a větrné 11 % až 33 % (v závislosti na lokalitě a použité technologii). Pokud bychom chtěli nahradit 2000 MW instalovaných v Jaderné elektrárně Temelín větrem, museli bychom,

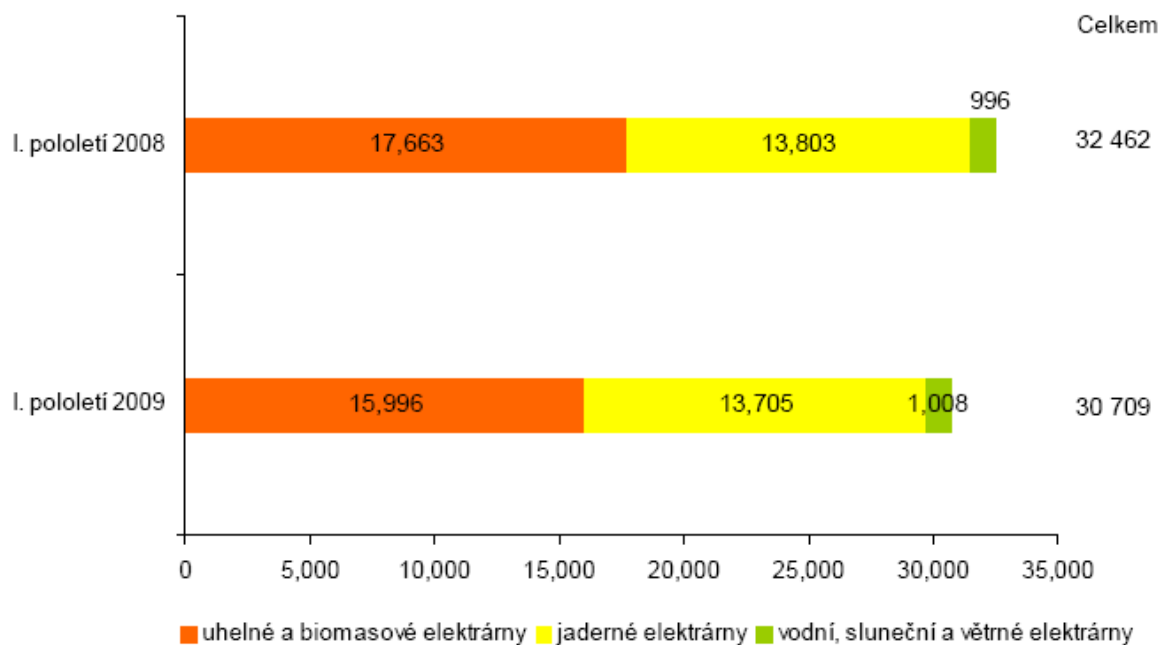
vzhledem k nižšímu koeficientu využití, instalovat zhruba 7,5krát větší výkon (v případě slunce 8,5krát)[8]

Z těchto důvodů je důležité udržet vyvážený energetický mix zdrojů elektrické energie. Na velké výkony potřebujeme s trendem snižování emisi u uhelných elektráren, elektrárny atomové, které jsou nejvhodnější jak z důvodů ekologických, tak z důvodů ekonomických.



Graf. č.3 Vývoj spotřeby elektrické energie v ČR

#### Výroba elektrické energie (GWh)



Graf. č.4 Vyrobená elektrická energie v jednotlivých typech elektráren [5]

## 2.8 Jaderná fúze

Naše nejbližší hvězda, ostatně jako všechny ostatní ke svému životu využívá proces zvaný jaderná fúze. V praxi to znamená slučování lehkých jader (u Slunce hlavně vodíku) na jádra těžší (u Slunce vznikají heliová jádra). To vše je doprovázeno uvolněním ohromného množství energie, které my vnímáme coby teplo a světlo. Vynalézavý člověk rychle pochopil princip hvězdného pohonu a pokusil se ho použít i na Zemi, jenže narazil na jeden velký a doposud nepřekonatelný problém. Aby se jádra vodíku spojila, musí se k sobě dostat tak blízko aby mezi nimi začaly působit velmi silné jaderné síly. Jenže problém spočívá v tom, že jednotlivá jádra se od sebe velmi silně odpuzují. S trochou fantazie se to dá přirovnat k situaci, kdy se k sobě snažíte přiložit dva vzájemně se odpuzující konce magnetů. U atomů navíc přichází i další problém, který u magnetů neřešíme - jsou tak malé, že nedají "uchopit do ruky". Slunce a ostatní hvězdy si s tím příliš velkou hlavu nedělají. Jejich ohromná hmotnost a gravitace tlačí jádra ohromným tlakem k sobě, takže fúze může bez problémů probíhat.

Jak ale na Zemi tyto procesy vyvolat uměle? Možnosti jsou v zásadě dvě. První z nich spočívá ve vytvoření plazmatu (tedy extrémně zahřátého ionizovaného plynu), které bude obíhat ve spirále pomocí silného magnetického pole. Na tomto principu pracuje takzvaný tokamak. V jeho reakční komoře by plasma zahřálo vložené palivo (deuterium a tritium) tak intenzivně, že by do sebe jednotlivé atomy narážely s takovou silou, která by překonala i odpudivé síly). Jenže už jen samotná otázka vytvoření plazmatu je při současné úrovni techniky někde na úrovni science-fiction a to ani nemluvíme o jeho udržení, které by bylo potřebné pro stálý provoz fúzního reaktoru. Druhou metodou je použití velmi silných laserů, které svou energií v jeden čas "zaútočí" na kapsli zmrazeného vodíku (přesněji deuteria - těžkého vodíku, který má v jádře o jeden neutron navíc a nachází se ve vodě a tritia, tedy supertěžkého vodíku, který má o dva neutrony navíc) umístěnou ve speciálním dutém, zlatém válečku. Tímto rychlým útokem dojde na jeho stěnách rentgenové záření o teplotě skoro 3 miliony Kelvinů. Tahle teplota stačí k tomu, aby se odpařil povrch kapsle a zbytek aby se rázovou vlnou "zhroutil sám do sebe" - došlo by k opaku exploze, tedy k implozi. Tlak i teplota vzrostou miliony stupňů Celsia a kapsle dosáhne hustoty 20krát vyšší než má olovo, čímž dochází ve 20 miliardtinách sekundy k fúzi. Vložená energie se sice několikrát vrátí, ovšem stále pro nás zůstává až příliš vysoká, nemluvě o nutnosti jejího stálého zabezpečení.[11]

### 3. ZAŘÍZENÍ JADERNÝCH ELEKTRÁREN

#### 3.1 Bezpečnostní systémy

Na dřevěném lešení zakrývajícím pyramidu grafitových bloků a plechovek s kovovým uranem stojí muž se sekyrou. Je připraven přetrhnout provaz, na jehož konci visí kadmiová tyč. Pod ním probíhá přísně utajený Fermiho pokus prvního štěpení jader uranu v reaktoru. Grafit zpomaluje neutrony, kadmium pohlcuje. Zasunutím kadmia do nitra pyramidy se zabrání nežádoucímu nekontrolovanému rozběhu řetězové štěpné reakce. Toto byl, před 66 lety, bezpečnostní systém u prvního jaderného reaktoru.

Od té doby byly uvedeny do provozu stovky energetických jaderných reaktorů. Neúnavně dodávaly do sítě elektrický proud a jejich automatické bezpečnostní a regulační systémy nepřetržitě hlídaly parametry jaderného paliva, médií a ovzduší. Tlak, teplotu, chemické složení chladiva, radioaktivitu uvnitř i vně jaderné elektrárny. A desítky dalších parametrů.

Regulační systémy u primární části jaderné elektrárny jsou minimálně zdvojené, bezpečnostní systémy ztrojené.

Pokud dojde k odchylce od zadaných parametrů, např. k zvýšení tlaku chladiva v primárním okruhu, nejdříve zareaguje provozní regulace systému kompenzace objemu, poté systém ochrany reaktoru ovládající regulační, kompenzační a havarijní tyče a nakonec soubor speciálních pojistných ventilů. Vše v návaznosti na regulaci sekundárního okruhu.

Ilustrujme si nyní práci bezpečnostních systémů při velké havárii – prasknutí primárního potrubí následkem vady materiálu. Ochrany reaktoru automaticky zasouvají havarijní tyče do reaktoru a odstavují jej. Speciální rychlouzávěry na potrubí procházejícím ochrannou obálkou (kontejnmentem) se během 5 vteřin uzavírají, aby nedošlo k úniku radioaktivity do okolí. Prostor pod ochrannou obálkou, kde z unikajícího chladiva o vysoké teplotě se tvoří pára, se sprchuje vodou s obsahem chemikálií a omezuje se tím nežádoucí natlakování ochranné obálky a šíření radioaktivních prvků. Bezpečnostní systémy startují a doplňují chladivo do reaktoru, aby nedošlo k obnažení článků paliva. Nejdříve chladivo s obsahem boru na snížení reaktivity (souvisí se změnami neutronového toku) a poté nízkotlaké chladivo na dochlazení reaktoru. Vzhledem k dokonalým diagnostickým prohlídkám zařízení při výrobě, montáži a provozu JE je však pravděpodobnost takovéto nehody prakticky nulová. Také elektrické a řídicí systémy jsou několikanásobně jištěny.

Při výpadku proudu startují dieselgenerátory a nejdůležitějším systémům se okamžitě dostává elektrického napájení z baterií, aby se mohl odstavit a dochladit reaktor.

Při havarijních událostech se příslušné systémy uvádí do provozu automaticky. Operátor po dobu 20 minut do procesu nezasahuje a poté postupuje podle detailních návodů na obsluhu.[10]



Operátoři v jaderných elektrárnách, jsou vyškolení odborníci, kteří skládají zkoušky z dané problematiky. Tímto je zajištěno, že při nenadálé události dojde k jejímu vyřešení v daném harmonogramu.

### 3.1.1 Mezinárodní stupnice pro hodnocení jaderných událostí

Státní správu a dozor při využívání jaderné energie a ionizujícího záření, v oblasti radiační ochrany a v oblasti jaderné, chemické a biologické ochrany v ČR, zajišťuje Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB).

Pro posuzování událostí v atomové elektrárně zavedla Mezinárodní agentura pro atomovou energii stupnici INES (The International Nuclear Event Scale - Mezinárodní stupnice pro hodnocení jaderných událostí). Zásadně rozlišuje poruchy (1-3) a havárie (4-7). Podle této stupnice všechny členské země a jaderná zařízení informují o všech událostech, při nichž dochází ke změnám či odchylkám v oblasti jaderné bezpečnosti.

0 - Událost bez významu pro bezpečnost (nejběžnější provozní poruchy, běžně zvládnutelné)

1 - Odchylka od normálního provozu (poruchy nepředstavující riziko, ale odhalující nedostatky bezpečnostních opatření).

2 - Porucha (technické poruchy, které neovlivní bezpečnost elektrárny přímo, ale mohou vést k přehodnocení bezpečnostních opatření).

3 - Vážná porucha (ozáření obsluhy elektrárny nad normu, menší únik radioaktivity do okolí - zlomky limitu).

4 - Havárie s účinky v jaderném zařízení (částečné poškození aktivní zóny, ozáření obsluhy elektrárny, ozáření okolních obyvatel na hranici limitu).

5 - Havárie s účinky na okolí (vážnější poškození aktivní zóny, únik 100 až 1000 Tbg biologicky významných radioizotopů, nutnost částečné evakuace okolí).

6 - Závažná havárie (velký únik radioaktivních látek mimo objekt, nutnost využít havarijních plánů k ochraně okolí).

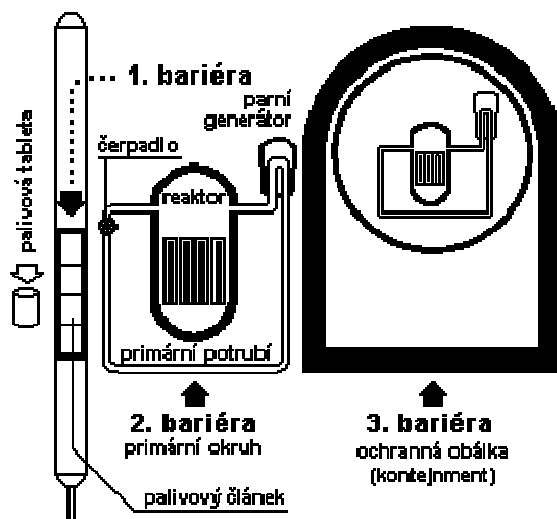
7 - Velká havárie (značný únik radioaktivních látek na velkém území, okamžité zdravotní následky, dlouhodobé ohrožení životního prostředí).

V průběhu dosavadní jaderné éry došlo jen k několika haváriím, které spadají do kategorie 4-7 stupnice INES (JE A-1 Jaslovské Bohunice, stupeň 4, 1977; JE Three Mile Island v USA, stupeň 5, 1979; JE Černobyl, stupeň 7, 1986).[1]



### 3.1.2 Kontejnment

Kontejnment - ochranný obal ze železobetonu kolem reaktoru a primárního okruhu. Kontejnment zabraňuje “volnému” šíření radioaktivních látek do okolí při haváriích s poškozením primárního okruhu.



Obr. č.4 znázornění provedení kontejnmentu

Příklad konstrukce kontejnmentu Jaderné elektrárny Temelín

Je to válcová železobetonová konstrukce vysoká 56 metrů. Skládá se z válce a kulového vrchlíku. Stěny válce jsou silné 1,2 metru, konstrukce kopule je pouze o deset centimetrů slabší. Vnitřní průměr kontejnmentu je 45 metrů (zhruba polovina délky fotbalového hřiště). Vnitřní povrch ochranné obálky je pokryt 8 milimetrů silnou vrstvou nerezové oceli, která hermeticky uzavírá vnitřní prostor a tak brání případnému úniku radionuklidů do okolí. Okolo kontejnmentu je čtvercová obestavba s řadou dalších zařízení, kde je mimo jiné i bloková dozorna – řídicí centrum výrobního bloku. [13]

#### Základní technická data kontejnmentu

Půdorys vestavby 66 x 66 metrů

Výška válcové části 38 metrů

Vnitřní průměr válcové části 45 metrů

Vnitřní světlá výška 41,7 metru

Tloušťka stěny válcové části 1,2 metru

Tloušťka stěny kopule 1,1 metru

Tloušťka ocelové výstelky 8 milimetrů

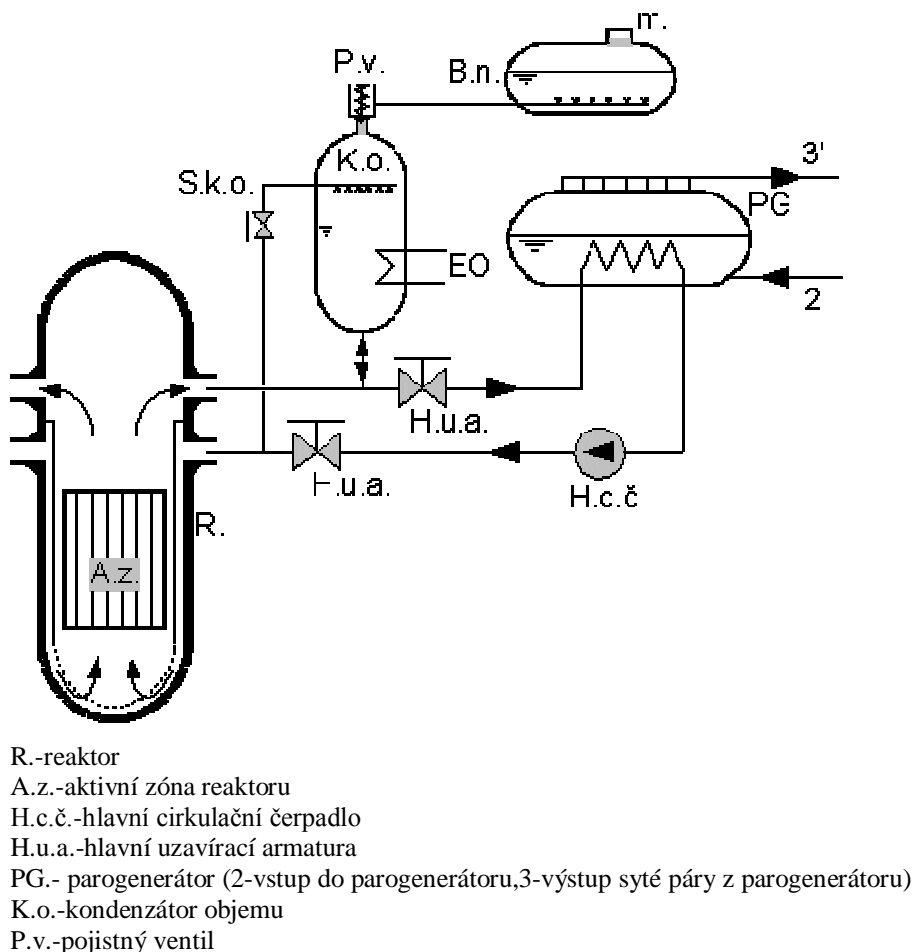
### 3.2 Vlastní spotřeba elektrárny

Vlastní spotřeba elektrárny je elektrická energie spotřebovaná pro zajištění činnosti hlavních výrobních zařízení na výrobu elektřiny a pro pomocné provozy podílející se přímo na výrobě elektřiny. Patří zde i ztráty v zařízeních a rozvodu vlastní spotřeby. Mezi zařízení vlastní spotřeby patří zařízení nezbytné pro provoz, které pomáhají nebo automatizují práci základních agregátů.

Do vlastní spotřeby elektrické energie elektrárny se nezapočítává spotřeba energie provozoven, které se nepodílejí přímo na výrobě elektřiny. Vlastní spotřeba se počítá od primární strany transformátoru vlastní spotřeby nebo místa, odkud je napojena k svému zdroji. Udává se pro celou elektrárnu za jeden rok v absolutním čísle a také v procentním vyjádření k celkové vyrobené elektrické energii.

### 3.3 Primární okruh Jaderné elektrárny

Je systém zařízení, který umožňuje získávat tepelnou energii z jaderného paliva prostřednictvím řízené štěpné řetězové reakce, nepřetržitě ji pomocí chladiva odvádět a přeměnit ji na formu tepelné energie využitelné v parní turbíně. [4]



- R.-reaktor
- A.z.-aktivní zóna reaktoru
- H.c.č.-hlavní cirkulační čerpadlo
- H.u.a.-hlavní uzavírací armatura
- PG.- parogenerátor (2-vstup do parogenerátoru,3-výstup syté páry z parogenerátoru)
- K.o.-kondenzátor objemu
- P.v.-pojistný ventil

Obr. č.5 Zjednodušené schéma primárního okruhu jaderné elektrárny Dukovany [21]

### 3.3.1 Jaderné reaktory

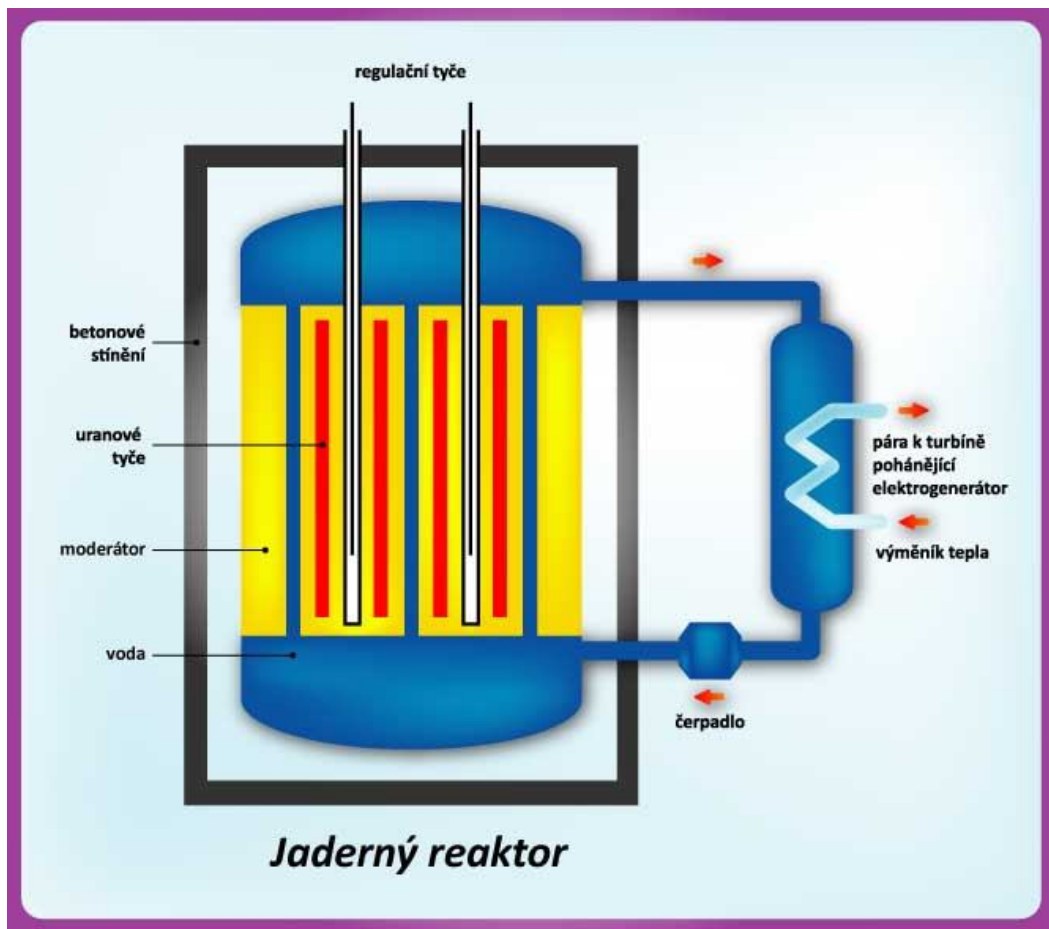
V jaderném reaktoru dochází k uvolnění jaderné energie a její přeměně na energii tepelnou. Zdrojem energie je kontrolovaná štěpná řetězová reakce v jaderném palivu. Z energetického hlediska je jaderný reaktor generátorem tepla, které se uvolňuje při řetězové štěpné anebo termojaderné reakci. Aby reaktor úspěšně fungoval, musíme do něho dát palivo, moderátor, absorbátor a chladivo, které bude odvádět teplo vzniklé při štěpení jader.

Palivo bývá tvořeno palivovými proutky. Malé tabletky paliva se poskládají na sebe, čímž vytvoří proutek o průměru asi 9 mm. Svazek těchto proutků tvoří palivovou kazetu.

Např. U reaktoru typu VVER 10001000 se v šestibokých palivových kazetách vkládá do reaktoru přes 47 tisíc proutků, v každé kazetě je jich 317. Část reaktoru, do které se vkládá palivo a kde také probíhá štěpná reakce, se nazývá aktivní zóna. Palivové proutky jsou chráněné povlakem ze speciální slitiny, nejčastěji na bázi zirkonia, která zaručí předání tepla z paliva chladivu a zároveň nepropustí radioaktivní štěpné produkty

Moderátorem bývá u reaktoru, kde štěpení obstarávají pomalé neutrony, nejčastěji voda, ale také grafit nebo těžká voda ( $D_2O$ ). Absorbátor se do aktivní zóny vkládá také ve formě tyčí, podobně jako palivo. Palivové kazety někdy mívají dvě části - v dolní je palivo, v horní absorbátor. Výkon reaktoru se pak reguluje výškou vytažení nebo zasunutí kazet do aktivní zóny. Pro případ okamžitého zastavení výkonu reaktoru jsou připraveny havarijní tyče. V nich bývá mnohem vyšší koncentrace absorbátoru než v tyčích regulačních.

Chladivem je médium, které odvádí teplo. Při štěpení jader odletují nová jádra (štěpné úlomky), narážejí do okolních jader a svou kinetickou energii tak způsobují zahřívání okolí. Teplonosné médium odvádí toto teplo tam, kde ho můžeme využít. Jako chladivo se nejlépe osvědčuje obyčejná voda, těžká voda, oxid uhličitý, helium, sodík a některé soli nebo slitiny. Reaktory mívají jeden nebo více chladicích okruhů.[1]



Obr. č.6 Řez jaderného reaktoru [20]

Typy jaderných reaktorů:

- Lehkovodní-

U tohoto typu reaktoru se voda přivede k varu v aktivní zóně při tlaku asi 7Mpa. Vzniklá pára se z tlakové reaktorové nádoby vede přímo na turbínu. V aktivní zóně jsou umístěny svazky palivových článků, skládajících se z tyčí, uspořádaných mřížkovitě a obsahující jaderné palivo. Reaktor se řídí a odstavuje pomocí křížovitě uspořádaných řídících tyčí.

Typický palivový článek sestává z 236 palivových tyčí a 20 řídících tyčí, takových palivových článků s celkovým obsahem 117 tun jaderného paliva ve formě  $\text{UO}_2$  obohaceného  $^{235}\text{U}$

- Reaktory moderované grafitem

Tento typ reaktoru byl vyvinut v Rusku a je tam v provozu v různých elektrárnách, na západě zůstal bezvýznamným. U tohoto reaktoru jsou ve válci, utvořeném z grafitových bloků, paralelně umístěny tlakové trubky, tvořící jádro reaktoru a naplněné mírně obohaceným uranovým palivem. Jako chladivo se používá voda.

- Těžkovodní reaktory

Tyto reaktory používají jako moderátor těžkou vodu ( $\text{D}_2\text{O}$ ). Mohou být plněny přírodním uranem. Nevýhodou je ovšem vysoká cena těžké vody

#### - Rychlé množivé reaktory (breedery)

Rychlé množivé reaktory jsou poháněny nezpomalenými neutrony „rychlými“ neutrony tak, jak bezprostředně vznikají při štěpení jader  $^{235}\text{U}$ ,  $^{233}\text{U}$ . [1]

### **3.3.2 Kompenzátor objemu**

Přestože koeficient objemové teplotní roztažnosti vody je poměrně malý, je třeba při objemu chladiva primárního okruhu několika stovek m<sup>3</sup> již se vzrůstem objemu vlivem teploty počítat. Pokud by totiž nebyl příslušný vzrůst objemu chladiva nějak kompenzován, došlo by při vzrůstu objemu vody k tak velkému mechanickému namáhání zařízení primárního okruhu, že by mohlo dojít k jeho prasknutí a uvolnění chladiva (radioaktivního) do prostoru primárního okruhu. Kompenzátor objemu je vertikální ocelová tlaková nádoba, svou velikostí srovnatelná s tlakovou nádobou reaktoru, připojená potrubím k horké větvi jedné ze smyček primárního okruhu. Kromě kompenzace teplotních objemových změn chladiva slouží kompenzátor objemu i k regulaci tlaku primárního chladiva pomocí vestavěných elektroohříváčů či sprch. Proti překročení přípustné hodnoty tlaku v primárním okruhu je kompenzátor objemu vybaven pojistnými ventily.[9]

### **3.3.3 Hlavní cirkulační čerpadlo**

Zajišťuje dodávku chladiva do Aktivní zóny. Čerpadlo sestává z hydraulické části a z asynchronního elektromotoru - v jednom celku. Motor má výkon 2 MW (6 kV) a stator je hermeticky oddělen od média.

### **3.3.4 Potrubí primárního okruhu**

Nerezové potrubí navzájem propojuje reaktor, parogenerátor a oběhová čerpadla. Pro snížení tepelných ztrát, ale současně pro umožnění kontroly jeho stavu, je toto potrubí opatřeno tepelnou snímací izolací. Ta část potrubí mezi reaktorem a parogenerátorem, kterým proudí ohřátá voda z reaktoru do parogenerátoru, je nazývána horkou větví, zbývající část potrubí, odvádějící vodu z parogenerátoru přes oběhové čerpadlo do reaktoru, je nazývána studenou větví primárního okruhu.[9]

### 3.3.5 Parogenerátor



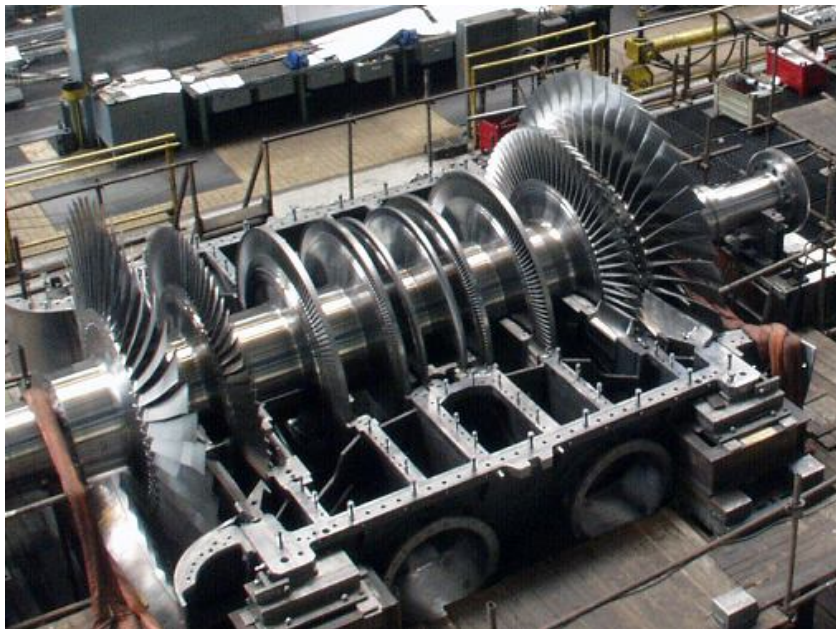
Obr. č.7 parogenerátor [19]

Tlakový tepelný výparníkový výměník, ve kterém voda primárního okruhu (v parogenerátoru proudící v tlakových trubkách) předává své teplo vodě sekundárního okruhu. Protože teplota vody okruhu primárního je vyšší než teplota varu vody sekundárního okruhu (tlak vody v primárním okruhu je totiž více jak dvojnásobný proti tlaku vody či páry sekundárního okruhu), dochází v parogenerátoru k intenzivnímu vývinu páry, která je parovodem vedena na turbínu.[9]

### 3.4 Sekundární okruh

Sekundárním okruhem v jaderné elektrárně je nazýván systém zařízení, který umožňuje přeměnit tepelnou energii páry v mechanickou energii rotoru parní turbíny. Do této skupiny patří zejména: turbína ,alternátor, kondenzátor, kondenzační a napájecí čerpadla a regenerační ohříváky.

### 3.4.1 Parní turbíny



Obr. č.8 Parní turbína 150 MW typu ŠKODA MTD 60CER. [18]

Parní turbíny jsou tepelné motory, v nichž se energie pracovního prostředí (páry) přeměňuje na mechanickou práci. Slouží pro pohon elektrických generátorů, turbokompresorů, čerpadel apod.. V současné době prakticky všechny Jaderné elektrárny vyrábějí elektřinu pomocí parních turbín. Parní turbíny tlakovodních Jaderných elektráren, pracující v sekundárním okruhu téměř výhradně se sytou parou. Teplota a tlak vstupní páry je omezena především parametry chladiva (vody) na výstupu z aktivní zóny reaktoru. Expanze syté páry probíhá ihned od počátku v oblasti mokré páry, čímž se snižuje suchost páry, a tedy se zvyšuje její vlhkost. Proto je třeba při poklesu suchosti páry při expanzi v první vysokotlaké části turbíny expanzi ukončit a před expanzí v nízkotlaké části, zbavit páru vlhkosti. To se uskutečňuje v separátoru vlhkosti, umístěném vedle turbíny. Nejčastěji bývá separátor kombinovaný s mezipřehřívákem páry.[12]

#### Dělení parních turbín

##### -pracovní látka

Parní turbíny na přehřátou páru. Vstupní teplota páry bývá 400 až 650 °C, celková účinnost výroby elektřiny (včetně parního kotle) je 28 až 42 %.

Parní turbíny na sytou resp. mokrou páru. Používají se převážně v jaderných elektrárnách.

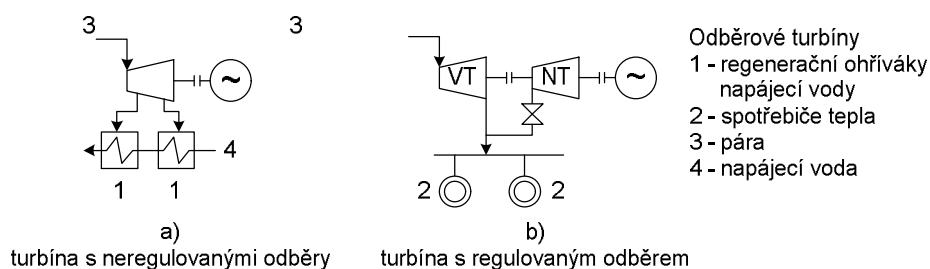


#### -tlak výstupní páry

Turbíny protitlaké. Výstupní tlak je poměrně vysoký (0,11 až 0,6 MPa), takže se pára dá použít pro topné nebo technologické účely.

Turbíny kondenzační. Pára expanduje do vakua na tlak 0,002 až 0,01 MPa. Kondenzační teplo této (emisní) páry je ztraceno a odvádí se do okolí chladícím systémem.

#### -odběry páry z turbíny



Obr. č.9 provedení turbín

Turbína s neregulovanými odběry. Pára se odebírá na několika místech z turbíny a ohřívá napájecí vodu kotle, takže se zvětšuje účinnost tepelného oběhu.

Turbína s regulovanými odběry. Pára se odebírá jedním nebo max. třemi odběry s vhodným tlakem, kterými se dodává teplo spotřebitelům. Odběr páry se reguluje podle požadavků spotřeby.

#### -počet těles

Jednotělesové turbíny pro menší výkony.

Vícetělesové turbíny s částí vysokotlakou, nízkotlakou popř. středotlakou, pro větší výkony.

#### -počet stupňů

Jednostupňové turbíny pro malé výkony.

Vícetupňové turbíny, až 20 stupňů v jednom tělese.

#### -princip funkce

Rovnotlaké turbíny. Entalpický spád stupně se celý přemění na rychlost v rozváděcích lopatkách, takže tlak před a za oběžnými lopatkami je stejný.

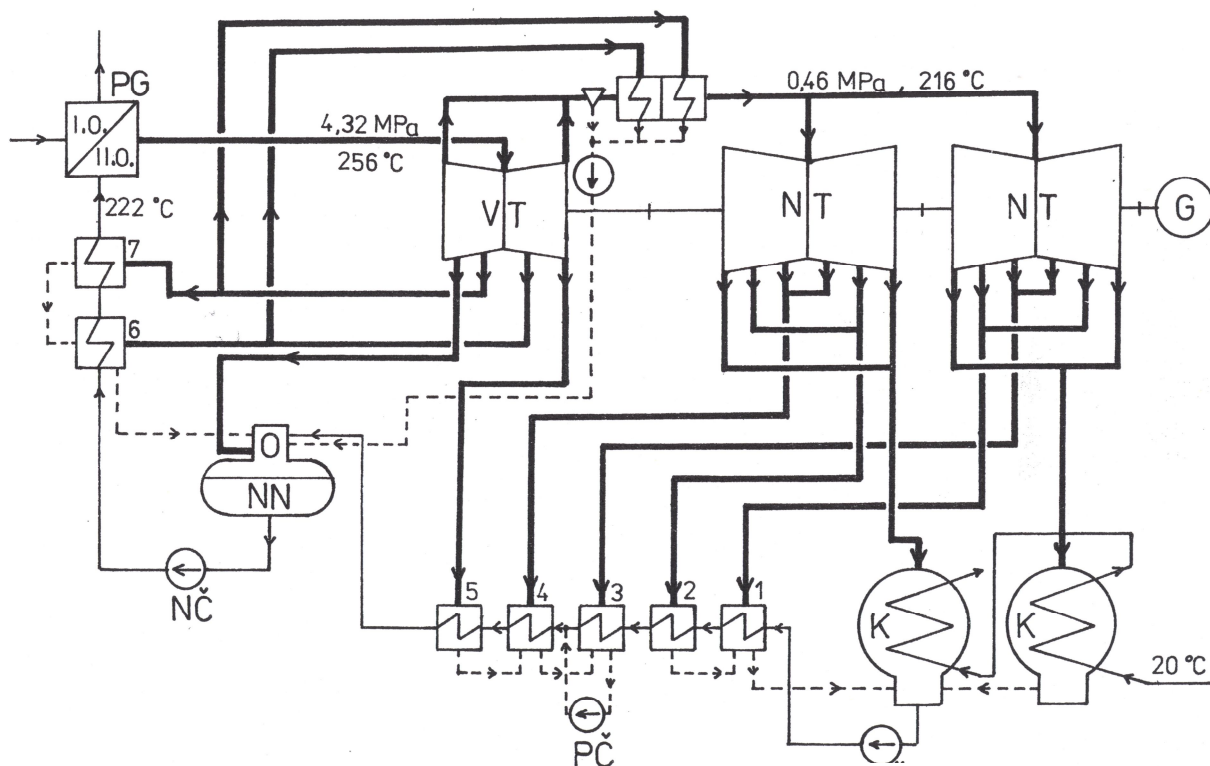
Přetlakové turbíny. Část entalpického se přeměňuje na rychlost i v oběžných lopatkách.

#### -Proudění pracovní látky

Axiální turbíny. Dnes nejčastější typ. Pára proudí rovnoběžně s osou hřídele.

Radiální turbíny. Pára proudí kolmo na osu hřídele, dnes se již prakticky nestaví.

Centripetální turbíny. Pára vstupuje do turbíny radiálně a vystupuje axiálně. Princip se používá u malých turbín (plnicí dmychadla, expandéry v kyslíkárnách aj.). [1]



PG- parogenerátor

NT,VT-Nízko, vysokotlaká část turbíny

Nč- napájecí čerpadlo

K-kondenzátor

G-generátor

NN-napájecí nádrž

Obr.č.10 Tepelná schéma turbosoustrojí 220 MW

Turbína má 3 000 ot / min a jmenovitá teplota chladicí vody pro kondenzátor je 20 ° C. Objem průtoku chladicí vody kondenzátorem je 35 000 m<sup>3</sup>/hod.

Para po expanzi ve vysokotlaké části turbíny přechází kombinovaným filtrem vlhkosti – přehřívákem páry, z něhož vystupuje při tlaku 0,46 MPa a dále vstupuje paralelně do dvou nízkotlakých částí turbíny. Po expanzi v Nízkotlaké části para vstupuje do dvou kondenzátorů. Z kondenzátorů je kondenzát dopravován čerpadly do nízkotlakých regeneračních ohříváčů napájecí vody.[12]

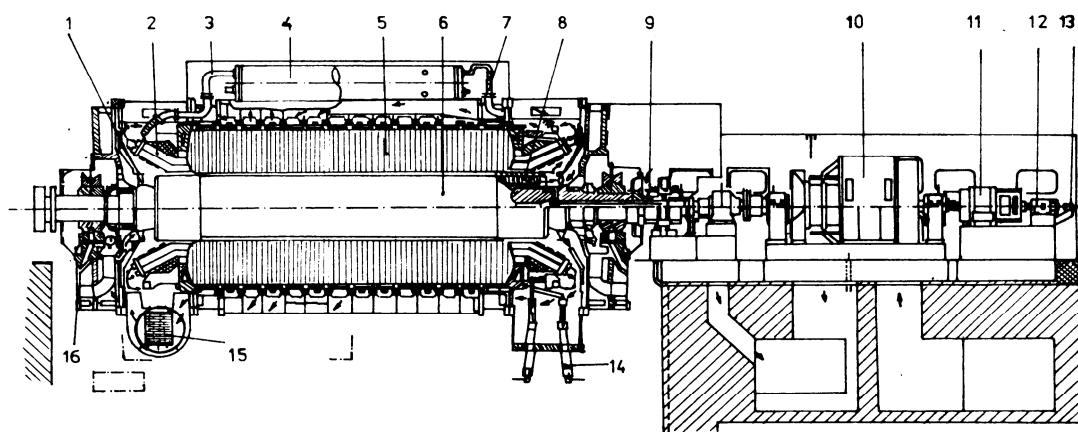
V jaderných elektrárnách se používají axiální kondenzační parní turbíny s vysokotlakou a nízkotlakou částí, pracující se sytou párou. Kondenzační teplo z turbíny je použito pro regenerační ohřev a po výstupu z nízkotlaké části je ztraceno v chladícím okruhu.

### 3.4.2 Alternátor

Alternátory jsou prioritním zdrojem elektrické energie a slouží na fyzikální přeměnu mechanické energie v energii elektrickou. Magnetické pole rotoru, které je vytvořeno pomocí buzení stejnosměrným proudem generuje napětí o zvolené frekvenci ve statorovém vnutí. Četnost závisí na počtu pólů a otáček rotoru. Pro průmyslovou frekvenci 50Hz se používají převážně dvoupólové alternátory s 3000 ot / min a čtyřpólové s 1500 ot / min. Alternátory mají vyveden výkon do trojfázové sítě a vyrábí se proto v provedení s třífázovým vnutím. Kromě některých experimentálních případů jsou alternátory výhradně synchronně stroje.

Generátory se mohou rozdělovat podle způsobu provozu, výkonů a rozměrů. Generátory pro parní turbíny jsou v rozsahu 5MW až 1000MW. Mají otáčivé pole, jsou dvoupólové, hladké bez vyjádřených pólů. Při nižších výkonech jsou chlazené vzduchem, který je chlazen v chladiči s vodním chlazením. Přirozené chlazení se doporučuje při nejmenších výkonech. Při malých výkonech je možné mezi turbínu a generátor vložit převodovku s převodem do pomala.

Alternátor má trojfázové statorové vnutí souměrné v každé fázi. Jednotlivé cívky jsou vzájemně posunuty o 120°. Stejnoseměrný proud v rotorové vnutí vytvoří ve vzduchové mezeře magnetické pole. Pokud se rotor otáčí s otáčkami  $n$ , otáčí se stejnými otáčkami i magnetické pole a ve statorových cívkách se indukují harmonické napětí. Frekvence indukovaného napětí odpovídá přechodu dvou sousedních pólů pod jednou stranou statorové cívky. Počet pólů je závislý na rychlosti otáčení a je výsledkem ekonomického zhodnocení výrobcem na dosažení nejlepší kombinace soustrojí turbína, převod a generátor. Generátory velkého výkonu jsou zcela uzavřeny s vodním chlazením, protože teplo, které vzniká ve vnutí není možné odvést chlazením vzduchem. Tento typ chlazení je výhodný i z hlediska ochrany před znečištěnou atmosférou. [12]



1 - axiální ventilátor, 2 - statorové vnutí, 3 - odvod vody, 4 - zásobník vody, 5 - plechy statoru, 6 - rotor, 7 - přívod vody, 8 - cívky rotoru, 9 - kroužky a kartáče, 10 - hlavní budič, 11 - amplitudyn, 12 - základní budič, 13 - snímač otáček, 14 - vývody alternátoru, 15 - chladič, 16 - ložisko.

Obr.č.11 Řez turboalternátorem 400 MVA [12]

Výkon synchronního generátoru je dán hlavně objemem válcového rotoru. Nutnost zvyšování jednotkových výkonů se nejvíce projevuje z hlediska zvyšování výkonu bloků hlavně jaderných elektráren. Růst objemu rotoru však naráží na některá omezení. Prvním je dovoleno dynamické namáhání rotorových částí, druhým je omezené přepravní možnosti velkých strojů. Způsob vyrovnání se s nimi je několik. Zvyšuje se proudové využití vinutí, zvyšování magnetické indukce v magnetickém obvodu. To však má za následek koncentraci ztrát v malém objemu a nutnost intenzivnějšího chlazení. Nejprve se zavedlo vodíkové chlazení, později kombinované chlazení vodou a vodíkem a v současnosti se začíná používat kompletní chlazení vodou.

V současnosti se při dvojpólových alternátorech uvažuje s maximálním průměrem rotoru 1,4 až 1,5 m a délka rotoru nemá být větší než 15 až 16 m. Při čtyřpólových strojích maximální průměr rotoru nemá překročit 2,5 m a jeho délka se bude pohybovat okolo 18 m.[12]

### **3.4.3 Nízkotlaké a vysokotlaké regenerační ohříváky**

Tepelné výměníky, ve kterých pára z neregulovaných regeneračních odběrů turbíny předává své kondenzační teplo kondenzátu nebo napájecí vodě parogenerátoru. V nízkotlakých regeneračních výměnících je kondenzát postupně ohřát na bod varu tak, aby v odplyňovací nádrži mohl být zbaven plynů v něm rozpuštěných. Ve vysokotlakých regeneračních ohřívácích je v odplyňovacích nádržích plynů zbavená napájecí voda zahřátá na teploty blízké bodu varu v parogenerátoru.[9]

### **3.4.4 Kondenzátor**

Tepelný výměník, v němž pára po expanzi v turbíně a po ochlazení chladicí vodou kondenzuje. Přiléhá těsně ke spodní části nízkotlakého dílu turbíny. Pára opouštějící turbínu prochází mezi trubkami, jimiž protéká chladicí voda, a na jejich povrchu kondenzuje. Zkondenzovaná pára (kondenzát) je kondenzátními čerpadly přes úpravu kondenzátu, regenerační výměníky a odplynění dopravována do parogenerátoru.[9]

## **3.5 Terciární okruh**

Úkolem terciárního okruhu je vytvořit v kondenzátoru co největší turbínou využitelný podtlak, aby účinnost turbíny byla co nejvyšší. Čím nižší je teplota chladicí vody v terciárním okruhu, tím vyšší je podtlak v kondenzátoru.

Základními zařízeními tohoto okruhu jsou:

chladicí věže

oběhová čerpadla

potrubí a kanály chladicí vody

U elektráren postavených u moře nebo u velkých řek se nestaví chladicí věže, neboť kondenzátor je možné chladit průtočnou vodou, bez obav o negativní dopad ohřáté vody na vodní ekosystém.[5]

### **3.5.1 Chladicí věže**

Pro elektrárny dominantní, ale přitom subtilní železobetonová stavba ve tvaru rotačního hyperboloidu sloužící k zajištění dostatečného tahu chladicího vzduchu pro chlazení chladicí vody a k uchycení konstrukčních vestaveb zajišťujících rozstřík chladicí vody pro lepší účinnost jejího ochlazování. Část chladicí vody se odpařuje. Skupenské teplo potřebné k odparu je hlavním důvodem snížení teploty chladicí vody. Ve spodní části věže je kruhový bazén, v němž se ochlazená voda shromažďuje a čerpadly chladicí vody je dopravována zpět do kondenzátoru turbín.[9]

### **3.5.2 Oběhová čerpadla**

Odstředivá čerpadla zajišťující cirkulaci chladicí vody mezi kondenzátory turbín a chladicími věžemi.

### **3.5.3 Potrubí a kanály chladicí vody**

Průtok chladicí vody lze přirovnat k průtoku v řece. Jde o potrubí největšího průměru na elektrárně.[9]

## **4. JADERNÉ ELEKTRÁRNY A ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ**

Výroba elektrické energie v jaderných elektrárnách (JE) je alternativou k výrobě elektrické energie v tepelných elektrárnách. Velkou výhodou JE je fakt, že při výrobě elektrické energie nevzniká oxid uhličitý, který přispívá ke skleníkovému efektu (globální oteplování Země). Další výhodou JE ve srovnání s tepelnými elektrárnami je minimální množství emisí plyných škodlivin a obvykle vyšší koncentrace elektrického výkonu.

K výrobě velkého množství elektrické energie je využíváno poměrně malé množství jaderného paliva. Jaderné palivo se získává z uranové rudy (neobnovitelný zdroj energie), kterou je potřeba těžít a následně zušlechťovat. Při těžbě a následném zušlechťování uranové rudy dochází k poškození přírody a vzniká velké množství různě nebezpečných odpadů, jejichž likvidace působí problémy. Při vlastní výrobě elektrické energie v JE dochází k produkci různých typů radioaktivních odpadů.

Největší potíže způsobuje likvidace vyhořelého jaderného paliva, které je vysoce radioaktivní velmi dlouhou dobu. Likvidace ostatních typů radioaktivních odpadů (cca 98 objemových %) je v dnešní době technicky zvládnuta. Přes výše uvedené nedostatky má výroba elektrické energie v JE nezastupitelnou roli v ekonomice každého státu, neboť snižuje riziko omezení dodávek el. energie, např. při potížích s dodávkami paliva pro tepelné elektrárny v zimním období.

Poměr elektrické energie vyrobené v JE vzhledem k celkovému množství vyráběné el. energie v elektrizační soustavě by měl být udržován v rozumných mezích, jinak vznikají problémy s přebytky levné energie (viz např. Francie). Různé typy JE, mají různě velké negativní účinky na životní prostředí. Velmi záleží na vhodné volbě a správném návrhu jaderné elektrárny s ohledem na přírodní podmínky v dané lokalitě. V posledních letech je veřejné mínění často ovlivňováno různými kampaněmi odpůrců jaderné energetiky, které využívají katastrofální následky havárie jaderné elektrárny v Černobyli (duben 1986), ke které došlo vlivem naprosto nedisciplinované obsluhy a velmi zastaralé elektrárny. Zde je nutné říci, že drtivou většinu havárií JE zavinil lidský faktor a většinou škodlivé následky havárií byly v médiích přeceňovány (s výjimkou Černobyli). Riziko havárie JE postavené dle současných technických předpisů je minimální.[14]

### **4.1 Vliv jaderných elektráren na životní prostředí a lidské zdraví**

JE mají pozitivní i negativní vlivy na životní prostředí. Pozitivní vlivy jsou spojeny se zvýšením počtu pracovních příležitostí v dané lokalitě, s vybudováním nové infrastruktury (silnice, železnice, vodovodní a kanalizační síť, atd.), apod. Negativní vlivy jsou v případě JE spojeny s produkcí a následnou likvidací různých druhů radioaktivních odpadů (plynné, kapalné a pevné), kterým je nutno předcházet a minimalizovat je už v době prvních projekčních prací, neboť dodatečná opatření nejsou tak účinná a jsou finančně náročnější. Při výrobě elektrické energie v Jaderné

elektrárny vznikají různé typy odpadů, emise tepla a vlhkosti, které ovlivňují určité složky životního prostředí. Emise tepla a vlhkosti mohou ovlivnit klimatické podmínky v okolí Jaderné elektrárny. Provozem Jaderné elektrárny může být ve větší či menší míře ovlivněno zemědělství, lesnictví, rybářství, doprava, krajina a lidské zdraví.[14]

#### **4.1.1 Lidské zdraví**

Pro obyvatele v okolí JE neznamena provoz JE žádné větší riziko, pokud nenastane velmi vážná havárie (Černobyl). V některých případech existuje velmi malé riziko, že dlouhodobým vypouštěním nízkoaktivních odpadů (hlavně kapalných), může dojít vlivem migrace radionuklidů ke kontaminaci potravního řetězce. V takovém případě nejprve dochází ke kontaminaci povrchové a později podzemní vody. Dále dochází ke kontaminaci naplavenin koryt vodních toků a zemědělské půdy. Následkem pak bývá kontaminace vodních živočichů, zemědělských plodin, hospodářských zvířat, masných a mléčných výrobků, tj. celého potravního řetězce. Výše uvedené riziko se minimalizuje pravidelným měřením v okolí JE (půda, voda, vzduch, zemědělské plodiny, maso hospodářských zvířat, atd.). Pro pracovníky JE, kteří pracují v rizikových oblastech, pak existují velmi přísné bezpečnostní předpisy, které mají omezit riziko poškození zdraví radioaktivním zářením.

#### **Hluk a vibrace**

Analýza možných zdrojů hluku a vibrací ukázala, že jaderná elektrárna není zdrojem nadměrného hluku a vibrací. Požadavky všech hygienických předpisů na ochranu proti hluku jsou bezpečně dodrženy. Ani při provozu se neočekávají neúměrně zvýšené hodnoty hluku. Analýzy i měření rovněž ukázaly, že elektrárna nepůsobí ani při stavbě ani při provozu vibrace, které by mohly ovlivňovat její okolí.[14]

#### **4.1.2 Krajina**

Výstavba a následný provoz JE má vliv na okolní krajinu. V době výstavby je krajina zatěžována nadměrným provozem stavebních mechanismů a nákladní dopravou, což sebou přináší nadměrný hluk, emise prachu, exhalace výfukových plynů, atd. Při výstavbě navíc dochází ke značné spotřebě stavebních materiálů (písek, šterk, cement, atd.), jejichž těžba je spojena s určitými ekologickými riziky, pokud je prováděna v ekologicky citlivých oblastech (např. vápenec). Přírodní ráz krajiny je citelně narušen vysokými chladicími věžemi, odvětrávacími komíny a ostatními budovami. Využití krajiny pro rekreační účely je značně omezeno, což může mít vliv na průmysl cestovního ruchu. Obvykle též dochází k větší migraci obyvatel.

Daleko závažnější než vizuální vliv JE na krajinu je likvidace odpadů, které vznikají provozem JE. Tyto odpady jsou děleny na nízko, středně a vysoce aktivní a jsou často navíc chemicky

agresivní. Radioaktivní odpady se dále dělí na odpady s krátkým poločasem rozpadu (hodiny, dny, měsíce) a odpady s dlouhým poločasem rozpadu (roky, desítky a stovky let). Likvidace nízko a středně aktivních odpadů (cca 98 až 99 objemových %) se v dnešní době provádí zaléváním do skla, betonu, asfaltu, keramiky, atd. a kontejnery s těmito odpady jsou ukládány na speciálních úložiscích (povrchové nebo hlubinné). Před vlastní likvidací odpadů se různými způsoby minimalizuje jejich objem (lisování, drcení, spalování, atd.). Likvidace výše uvedených odpadů je v dnešní době dobře zvládnuta a nečiní větších problémů. V minulosti docházelo ojediněle u starších typů JE ke kontaminaci naplavenin u dna vodních toků, kam byly vypouštěny tekuté nízkoaktivní odpady. Kontaminace naplavenin ovlivňuje všechny vodní živočichy, což může mít za následek kontaminaci celého potravního řetězce [14]

#### **4.1.3 Zemědělství**

Jaderné elektrárny způsobují v zemědělství dva různé typy ztrát. Prvním typem ztrát jsou ztráty vznikající záborom půdy pro stavbu elektrárny, chladících věží, atd. Rozloha zemědělské půdy se stále snižuje, což snižuje celkové výnosy v zemědělství. Proto je nutné při stavbě elektrárny (obecně při jakékoli stavbě) nejprve odstranit vzácnou vrstvu ornice a následně rekultivovat stejnou rozlohu nezemědělské půdy na zemědělskou v jiné oblasti tak, aby rozloha zemědělské půdy soustavně neklesala. V opačném případě vznikají přímé ekonomické ztráty. Při těchto pracích vždy dochází k částečnému porušení struktury ornice a narušení životního prostředí organismů, které žijí ve vrstvě ornice. K výše uvedenému je vhodné dodat, že při stavbě tepelné elektrárny stejného výkonu dochází k větším záborům půdy, neboť je nutné uvažovat půdu zabranou skládkami uhlí, vápence, produktů odsíření atd. [14]

Žádná elektrárna není ideální

Životní prostředí je ovlivňováno všemi většími zdroji i spotřebiči energie. Námitky lze uplatnit vůči veškerým velkým zdrojům, a to vzhledem k vlivu na krajinnou ekologii, vůči spalovacím technologiím a zejména vzhledem k emisím skleníkových plynů. K jaderným zdrojům - jako jsou JE Dukovany a JE Temelín - lze mít námitky vzhledem k úrovni jaderné i radiační bezpečnosti a k fenoménu "jaderný odpad". Připomínky vůči obnovitelným zdrojům - jako je vodní energie, spalování biomasy a využití solární energie - mohou směřovat proti enormním nárokům na zábor území.

Vzhledem k tomu, že se lidstvo bez energie neobejde, přichází v úvahu srovnání typu risk na jedné straně a přínos na straně druhé. Snahou přitom je, aby prospěch ze zařízení mnohokrát převýšil poznané riziko. Z hlediska životního prostředí jsou významné všechny negativní efekty spojené s použitým palivem - od jeho těžby přes dopravu, úpravu, využití až po emise a odpady. Globální hodnocení se tak netýká pouze vlastního provozu té které elektrárny, ale všech eventuálních ekologických škod plynoucích z využití určitého paliva pro výrobu konečného produktu, elektrické energie.

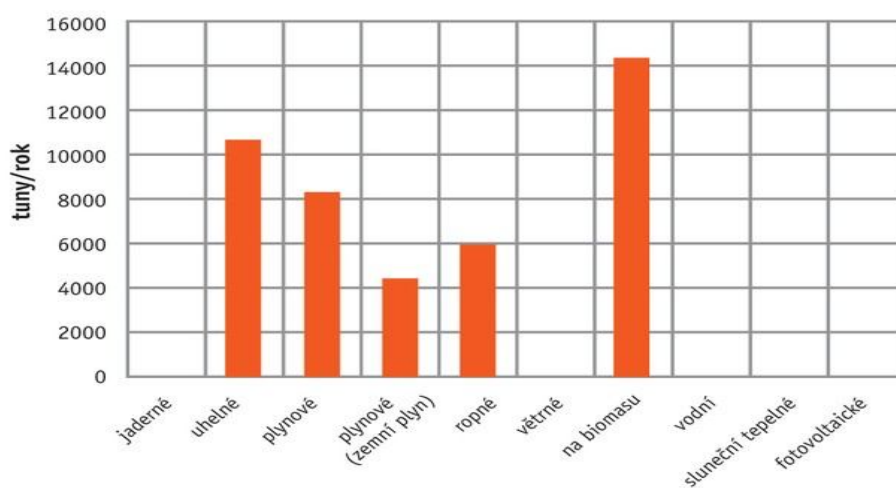


## 4.2 Porovnání vlivu jednotlivých elektráren na životní prostředí

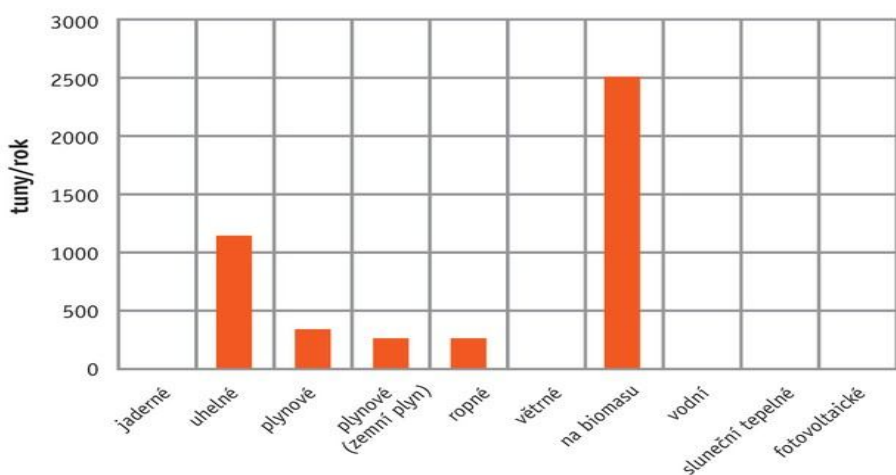
Elektrárna	Tzv. efektivní dávka ionizujícího záření
Uhelná 1000 MW	Černé uhlí 0,007-0,11 mSv/rok Hnědé uhlí 0,002-0,08 mSv/rok
Jaderná 1000 MW	0,001-0,01 mSv/rok
Jaderná fúzní 1000-5000 MW (odhad)	0,5-1 mSv/rok

Tabulka 1 Porovnání elektráren z hlediska uvolňování záření [15]

Z tabulky je zřejmé, že jaderná elektrárna je na tom podobně jako uhelná.



Graf č.5. Emise tuhých znečišťujících látek [22]



Graf č.6 Emise oxidů dusíku [22]

Z grafů vyplívají obecně známe údaje, o tom, že jaderná energie je velice šetrným zdrojem elektrické energie, problém spočívá ve vyhořelém radioaktivním palivu.

### 4.3 Radioaktivní odpady a jejich bezpečné uložení

Zneškodňování radioaktivních odpadů (RaO) vychází z mezinárodně uznávaných principů nakládání s tímto druhem odpadů. Tyto principy směřují k ochraně zdraví a životního prostředí před negativními důsledky ionizujícího záření, zohlednění požadavku na minimalizaci produkce RaO, k ochraně budoucích generací před nežádoucí zátěží a ke snaze, aby případné působení na člověka nevyvolalo újmu na zdraví.

Základním principem pro zneškodnění jak vysokoaktivních, tak středněaktivních či nízkoaktivních radioaktivních odpadů je jejich izolace od životního prostředí. Ta je zabezpečena pomocí aplikace multibariérových systémů, kde se uplatňují jak přírodní, tak inženýrské (uměle vytvořené) bariéry proti únikům uložených radioaktivních odpadů a šíření kontaminace radionuklidy.

Bezpečnost úložiště je prověřována soustavou kontrolních mechanismů. Rozhodnutím SÚJB o schválení Limitů a podmínek bezpečného provozu je omezena maximální aktivita, kterou lze do úložiště uložit. Toto omezení má praktický význam pro bezpečnost zejména v daleké budoucnosti, kdy ani náhodné vniknutí do prostor úložiště nezpůsobí vážnější zdravotní újmu. Dnešní bezpečnost je potvrzována výsledky monitorování úložiště, důsledným dodržováním limitů a podmínek provozu, dodržováním podmínek přijatelnosti ze strany původce a jejich důslednou kontrolou při předávání odpadů k uložení Správou úložišť.[9]

### 4.4 Rozdělení radioaktivního odpadu

Při provozu jaderného reaktoru vznikají různé radioaktivní látky. Převážnou většinu z nich (cca 99 %) tvoří štěpné produkty uzavřené v palivových článcích. Zbývající radioaktivní látky vznikají i mimo palivové články, zejména pohlcováním neutronů (zcela nepatrná část těchto látek se po úpravách kontrolovaně vypouští do atmosféry a do vodotečí, čímž se dále ředí). Ostatní radioaktivní látky vytvářejí tzv. reaktorové radioaktivní odpady, které se musí zpracovat a pak definitivně uložit tak, aby nemohly proniknout do životního prostředí v množství, které by ohrozilo současnou nebo budoucí populaci. Radioaktivním odpadem se rozumí jakýkoliv materiál, pro který se neplánuje žádné další užití a jehož charakter a úroveň radioaktivity jsou takové, že z hlediska radiační bezpečnosti neumožňují jeho bezprostřední rozptýlení do životního prostředí. Producentem těchto odpadů nemusí být pouze jaderná energetika, ale i například zdravotnictví a některá další odvětví průmyslu.

Podle intenzity záření a doby, po kterou toto záření produkuje, je možné radioaktivní odpad rozdělit do tří skupin:

nízkoaktivní odpad

středně aktivní odpad

vysoce aktivní odpad

- Nízkoaktivní odpad

Nízkoaktivní odpady tvoří asi 90 % veškeré produkce radioaktivních odpadů. Jsou tvořeny převážně zbytky z radioaktivních provozů, jako jsou kontaminované drtě, kovy, papírové a plastické obaly, nářadí a ochranné oděvy tvoří objemově značnou část radioaktivních odpadů jako celku. Tyto látky obsahují poměrně malé množství radionuklidů a z tohoto důvodu není nutné tyto látky odstíňovat ani chladit a lze je ukládat do povrchových úložišť. Spalitelná část těchto odpadů bývá před uložením zpopelněna. Poločas rozpadu nízkoaktivních odpadů je zhruba 30 let.

- Středně aktivní odpad

Za středně aktivní označujeme odpad, který nemůže být zařazen do kategorie nízkoaktivního odpadu, ale zároveň nevyžaduje speciální zacházení jako vysokoaktivní odpad. Při manipulaci a přepravě středně aktivního odpadu je nutné stínění, ale uvolňované teplo je malé. Za středně aktivní odpad lze označit především servisní materiály, jako jsou povlaky paliva, konstrukční materiály palivových souborů, nečistoty ve formě kalů, náplně kolon chemické úpravy chladiv, moderátorů, ale i zařízení na úpravu vyhořelého paliva.

Některé z těchto odpadů vyžadují trvalé uložení v hlubinném geologickém úložišti, v ostatních případech je možné použít úložiště povrchového typu.

- Vysoce aktivní odpad

Vysoce radioaktivní odpad uvolňuje značné množství tepla - vyžaduje chlazení a stínění. Více než 90 % tohoto druhu odpadu tvoří vyhořelé palivové články z jaderných elektráren. Ty obsahují především štěpné produkty, vznikající ozářením jaderného paliva v reaktoru. Tyto látky se vyskytují převážně ve skupenství kapalném a jsou obvykle uloženy do skleněné matrice při procesu zvaném vitifikace. Hlavním nebezpečím vysoce aktivních odpadů je velká koncentrace radioaktivních a extrémně dlouhodobých radionuklidů, s poločasem rozpadu sto tisíc i více let. Odborníci uvádějí, že nejnebezpečnější doba je prvních zhruba 300 let.

Z celkové produkce představují vysoce aktivní odpady poměrně malé procento, asi 1 %, ale obsahují 99 % veškeré aktivity. Z ekologického hlediska je významné, že tento odpad obsahuje některé radioaktivní nuklidy s velmi dlouhým poločasem přeměny a jeho trvalé uložení bude muset být zabezpečeno na mnoho tisíc let. Je tedy zřejmé, že trvalé uložení je možné pouze v hlubinném geologickém úložišti s dlouhodobou životností.[17]

## 4.5 Úprava odpadů

Středněaktivní či nízkooaktivní odpady produkované Jadernou elektrárnou Dukovany a Jadernou elektrárnou Temelín jsou předávány k uložení ve zpevněné formě nebo ve schválených obalech. Technologie zpracování tzv. bitumenací, použitá na úpravu kapalných odpadů v obou elektrárnách, zaručuje produkt, který je v dlouhodobém horizontu stabilní a odolný účinkům radiace, vyznačuje se nízkou loužitelností a cca 2,5 násobnou redukcí objemu. Pevné odpady pocházející z kontrolovaného pásma jsou tříděny podle svých charakteristických vlastností. Tento způsob nakládání umožňuje průkaznější charakterizaci radionuklidů, kterými jsou odpady kontaminovány. Vytříděná neaktivní část odpadů je zneškodněna konvenčními způsoby, které jsou používány v nakládání s neaktivními odpady.

Pevné radioaktivní odpady jsou skladovány a před konečnou úpravou se lisují do sudů o objemu 200 litrů. Konečná úprava probíhá kampaňovitě, sudy s předlisovaným odpadem jsou slisovány vysokotlakým lisem. Výlisky jsou umístěny do větších sudů (tzv. overpak o objemu 300 až 400 litrů) a takto ukládány do úložiště radioaktivních odpadů. Výsledná redukce objemu je šestinásobná.[9]



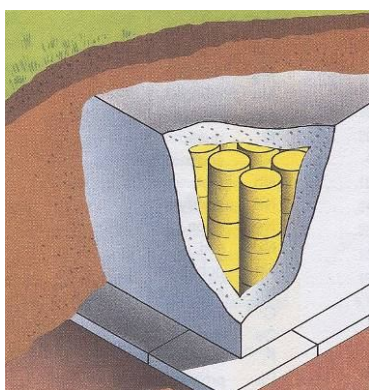
Obr. č.12 Sudy s jaderným odpadem [22]

#### 4.6 Vyhořelé palivo cesta uložení

Vyhořelé palivo z jaderné elektrárny je po několikaletém skladování v bazénu vyhořelého paliva přemístěno v kontejnerech do meziskladu vyhořelého paliva. Tento mezisklad se obvykle nachází v lokalitě jaderné elektrárny. Palivo je zde skladováno a pod přísným dohledem monitorováno po dobu 50 let. Současné koncepce přepokládají, že poté bude vyhořelé jaderné palivo umístěno do trvalého hlubinného úložiště odpadu. Paralelně probíhá celosvětový výzkum tzv. transmutačních technologií, které by po separaci transuranů a štěpných produktů zajistily další energetické využití dnešního "jaderného odpadu" v budoucnosti. Zcela reálně lze předpokládat, že za příštích 20-30 let se ze strašáka vyhořelého jaderného paliva stane druhotná energetická surovina a potřebná kapacita finálního odpadu k trvalému uložení se o několik řádů sníží.

Vyhořelé palivo z JE Dukovany je skladováno v meziskladu s kapacitou 600 tun uranu v areálu elektrárny. V důsledku postupného naplňování meziskladu bylo v roce 2003 vydáno stavební povolení na rozšíření kapacity o 1340 tun uranu. S výstavbou podobného skladu se počítá i v areálu JE Temelín.

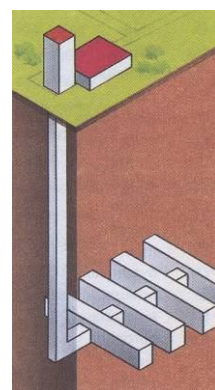
Nízkoaktivní a středněaktivní odpady jsou zpracovávány v areálech elektráren a upravené jsou ukládány v úložišti radioaktivních odpadů v lokalitě JE Dukovany. Po 18 letech provozu bylo z celkového počtu 112 jímek zaplněno pouhých 9. Celková kapacita úložiště je asi 55 000 m<sup>3</sup>. [3]



a)



b)



c)

Obr. č.13 a) Schéma povrchového úložiště RAO, b) Úložiště RAO v dole Richard u Litoměřic, c) Schéma hlubinného úložiště RAO [1]

RAO- radioaktivní odpad

## 5. ZÁVĚR

V dnešní době je elektrická energie alfou a omegou každodenního života. Pro svůj bezproblémový chod ji potřebuje každá vyspělá země. Jaderné elektrárny patří mezi největší, vysoce spolehlivé a ekonomicky výhodné energetické zdroje.

Od prvního pokusu jaderné reakce v letech 1935 uplynulo již několik desítek let, v nichž energie jádra udělala obrovský pokrok vpřed. První jaderné reaktory nebyly ještě tak zcela bezpečné jako v dnešní době, kdy jaderná bezpečnost je hlavní stránkou jaderné problematiky. Bezpečnostní systémy jsou dnes na špičkové úrovni, aby se zamezilo podobným katastrofám, jako se stala například v Černobylu.

Jaderná energie ve světě zaznamenává oproti minulosti velký rozmach, s tím, že v tomto trendu bude i nadále pokračovat, jelikož je potřeba nahrazovat elektrárny na fosilní paliva. Za posledních 20 let došlo ke zdvojnásobení celkové vyrobené energie v jaderných elektrárnách. V České republice máme v provozu dvě jaderné elektrárny (Dukovany a Temelín), přičemž jaderná elektrárna Temelín se bude muset v budoucnu rozšířit, aby byla pokryta veškerá poptávka po energii a stát byl energeticky samostatný.

Z ekologického hlediska je jaderná energie, energií čistou. Při její výrobě nevznikají žádné škodlivé látky jako z tepelných elektráren na fosilní paliva či biomasu. Pro lidské zdraví a krajinu jaderné elektrárny představují velice malé riziko, jelikož nedochází k úniku jaderného záření. Jedinou ekologickou otázkou je nakládání s vyhořelým palivem, které je potřeba ukládat do speciálních úložišť. Tyto úložiště musejí splňovat podmínky pro uložení radioaktivního odpadu, jako jsou suchost, stálost podloží a zamezení přístupu jak povětrnostním podmínkám, tak i osobám. V současnosti se již zpracovávají koncepty na další zpracování tohoto paliva.

## 6. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] GOŇO, Radomír, *Jaderné elektrárny*, 2003
- [2] JADERNÁ ENERGIE [online]. 2008 [cit. 2010-03-18]. *Historie objevu jaderné energie*. Dostupné z WWW: <<http://history.webgarden.cz/historie-objevu-jaderne-energie>>.
- [3] JADERNÁ ENERGIE A EKOLOGIE [online]. 2007 [cit. 2010-04-01]. *Úložiště jaderného odpadu - hrozba pro ekologii?*. Dostupné z WWW: <<http://www.ekologie-energie.cz/uloziste-jaderneho-odpadu.htm>>.
- [4] ULLMANN, Vojtěch. Ullmann V.: "AstroNuklFyzika" [online]. [cit. 2010-04-10]. *Jaderná a radiační fyzika. 1.3 Jaderné reakce*. Dostupné z WWW: <<http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika3.htm>>.
- [5] SKUPINA ČEZ [online]. 2009 [cit. 2010-04-02]. *Výroba elektřiny*. Dostupné z WWW: <<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elekriny/jaderna-energetika.html>>.
- [6] JE TEMELÍN A DUKOVANY [online]. 2007 [cit. 2010-03-18]. *Technologie českých jaderných elektráren*. Dostupné z WWW: <<http://www.je-temelin-dukovany.cz/jaderna-elekrarna-technologie.htm>>.
- [7] SKUPINA ČEZ [online]. 2009 [cit. 2010-02-18]. *Zvažovaná dostavba elektrárny Temelín*. Dostupné z WWW: <<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elekriny/zvazovana-dostavba-elekrarny-temelin.html>>.
- [8] ZÁVODSKÝ, Petr. Časopis stavebnictví [online]. 2007 [cit. 2010-03-01]. *Perspektivy využití jaderné energie*. Dostupné z WWW: <[http://www.casopisstavebnictvi.cz/perspektivy-vyuziti-jaderne-energie\\_A183\\_I04\\_07](http://www.casopisstavebnictvi.cz/perspektivy-vyuziti-jaderne-energie_A183_I04_07)>.
- [9] SKUPINA ČEZ [online]. 2009 [cit. 2010-03-11]. *Technologie a bezpečnost*. Dostupné z WWW: <<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elekriny/jaderna-energetika/jaderne-elekrarny-cez/edu/technologie-a-zabezpeceni.html>>.
- [10] JADERNÁ ENERGETIKA [online]. 2009 [cit. 2010-02-21]. *Vše o jádru*. Dostupné z WWW: <<http://www.jadernaenergetika.cz/o-jadru-jadra.html>>.
- [11] WWW.DUGI.XF.CZ ANEB CO SE DĚJE VE SVĚTĚ [online]. 2006 [cit. 2010-03-22]. *Jaderná fúze - zachránce příštích let*. Dostupné z WWW: <[http://dugi.xf.cz/postrehy/050210\\_fuze.html](http://dugi.xf.cz/postrehy/050210_fuze.html)>.
- [12] CHLADNÝ, Vladimír; KOLCUN, Michal; MEŠTER, Marián. *Výroba elektriny*, 2006.

- [13] TECHNET.CZ [online]. 1999 [cit. 2010-04-12]. *Jak funguje Temelín*. Dostupné z WWW: <[http://technet.idnes.cz/jak-funguje-temelin-byli-jsme-primo-v-srdci-reaktoru-f9n-/tec\\_reportaze.asp?c=A070417\\_135542\\_tec\\_technika\\_rja](http://technet.idnes.cz/jak-funguje-temelin-byli-jsme-primo-v-srdci-reaktoru-f9n-/tec_reportaze.asp?c=A070417_135542_tec_technika_rja)>.
- [14] NEUŽIL, Martin. *Vliv jaderných elektráren na životní prostředí*. Praha: Spirax Sarco s.r.o.
- [15] VODNÍ A TEPELNÉ ELEKTRÁRNY [online]. 2007 [cit. 2010-04-02]. *Jaderná elektrárna versus elektrárna uhelná*. Dostupné z WWW: <<http://www.vodni-tepelne-elektrarny.cz/jaderna-uhelna-elektrarna.htm>>.
- [16] JADERNÝ ODPAD [online]. 2007 [cit. 2010-02-23]. *Hlubinné úložiště jaderného odpadu a jeho anatomie*. Dostupné z WWW: <<http://www.jaderny-odpad.cz/hlubinne-uloziste.htm>>.
- [17] CENTRUM EXPERIMENTÁLNÍ GEOTECHNIKY [online]. 2000 [cit. 2010-04-07]. *Ukládání odpadů v ČR*. Dostupné z WWW: <<http://ceg.fsv.cvut.cz/vyzkum/radioaktivni-odpady/problematikaodpaducr>>.
- [18] ŠKODA HOLDING a.s. [online]. [cit. 2010-04-01]. *Parní turbíny ŠKODA konstrukční řešení*. Dostupné z WWW: <<http://www.citace.com/generator.php?druh=8&ukol=1>>.
- [19] VÍTKOVICE POWER ENGINEERING a.s. [online]. 2009 [cit. 2010-03-20]. *člen VÍTKOVICE MACHINERY GROUP*. Dostupné z WWW: <<http://www.vitkovicepower.cz/default/file/download/id/4159/inline/1>>.
- [20] KATEDRA FYZIKY PŘF OU [online]. 2005 [cit. 2010-03-12]. *Jaderný reaktor.jpg*. Dostupné z WWW: <<http://artemis.osu.cz/mmfiz/jm/img/small/jadern%FD%20reaktor.jpg>>.
- [21] ODBOR ENERGETICKÉHO INŽENÝRSTVÍ [online]. [cit. 2010-04-02]. *Opora výuky*. Dostupné z WWW: <<http://oei.fme.vutbr.cz/jskorpik/81.html>>.
- [22] MAGAZÍN PLNÝ POZITIVNÍ ENERGIE [online]. 2001 [cit. 2010-03-03]. *Seibersdorf\_sudy.jpg*. Dostupné z WWW: <[http://www.tretipol.cz/img/pic/0/2009/01/seibersdorf\\_sudy.jpg](http://www.tretipol.cz/img/pic/0/2009/01/seibersdorf_sudy.jpg)>.